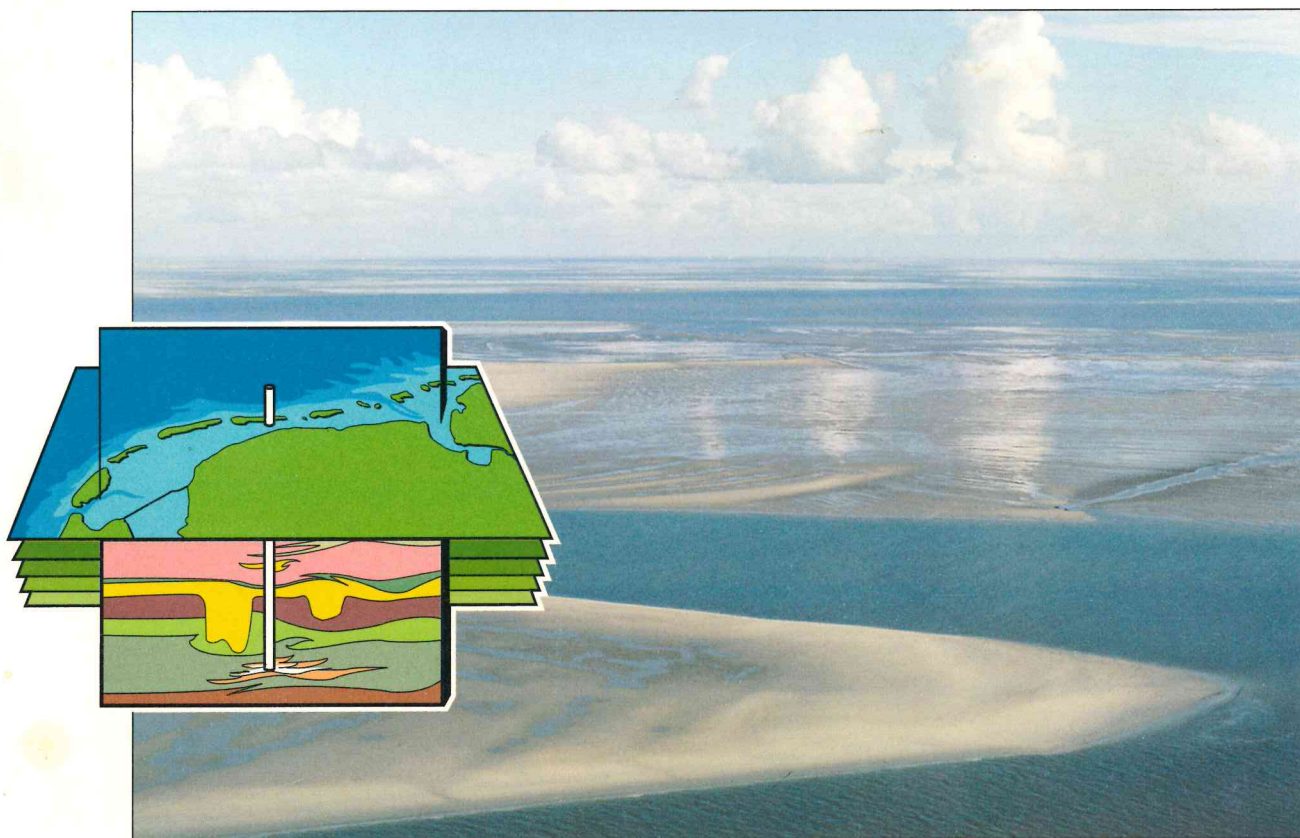


OPENBARE DISCUSSIEDAG "BODEMDALING WADDENZEE"

8 SEPTEMBER 1993

Editor: H.J. Lindeboom



Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee

© 1993

This report is not to be cited without
acknowledgement of the source.
Netherlands Institute for Sea Research (NIOZ)
P.O. Box 59, 1790 AB Den Burg,
Texel, The Netherlands

ISSN 0923 - 3210

VOORWOORD

Op verzoek van een aantal leden van de Tweede Kamer en de betrokken industrieën NAM en Elf Petroland heeft het Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee (NIOZ) op 8 september 1993 een openbare discussiedag over bodemdaling in de Waddenzee als gevolg van gaswinning georganiseerd.

Bij gaswinning uit de ondergrond van de Waddenzee zal bodemdaling plaatsvinden, ongeacht of deze winning vanaf land of in zee wordt uitgevoerd. Dit wordt gezien als één van de belangrijkste optredende (lange-termijn) effecten van gaswinning in het Waddengebied. De vraag was nu of dit kan leiden tot onaanvaardbare veranderingen in de morfologie en het ecosysteem van de Waddenzee. Om deze vraag met de best beschikbare wetenschappelijke inzichten te beantwoorden heeft het NIOZ wetenschappers van verschillende instituten gevraagd om middels een bijdrage aan dit rapport hun visie te geven op de historische ontwikkeling van de Waddenzee, de voorspelde bodemdaling, de vraag of natuurlijk zandtransport deze daling bijhoudt, de mogelijke effecten op kwelders en wadvogels, en de uiteindelijke gevolgen voor het gehele ecosysteem van de Waddenzee.

Om een gestructureerd deskundigendebat mogelijk te maken is tijdens de discussiedag maar één belangrijk aspect van gaswinning in de Waddenzee besproken. Bij de uiteindelijke beslissing of gasboringen al dan niet kunnen worden toegestaan, zullen ook de aanwezigheid van boor- en winningsinstallaties, de aan- en afvoer van materialen, de hierdoor optredende verstoring van het ecosysteem, de veiligheidsrisico's en het feit dat men in een beschermd natuurgebied wil boren een belangrijke rol spelen.

In dit rapport zijn de bijdragen van alle sprekers opgenomen, alsmede een samenvatting van de gevoerde discussie en enige impressies van de voorzitters. Soms zijn de tijdens de discussie gestelde vragen en de gegeven antwoorden opgenomen bij het betreffende hoofdstuk.

Dit rapport is tot stand gekomen dankzij de geweldige inzet van alle sprekers. Zonder de ondersteuning van de NIOZ staf, in het bijzonder Anneke Bol, Joke Mulder, Nelleke Krijgsman, Henk Hobbelink, Joke Hart, Carmen Blaauboer, Hans Malschaert en Joop Rommets was dit rapport nooit verschenen.

H.J. Lindeboom (NIOZ)

BESTUURLIJKE TERUGBLIK EN PERSPECTIEF

D.K.J. TOMMEL

Voorzitter vaste Kamercommissie 'Zeeën'

Waarom liggen olie- en gasvoorkomens zo vaak onder kwetsbare natuurgebieden? Onder de Golf van Mexico, onder de baai van Macaraïbo, onder de Sibेरische taiga, en in Nederland onder de Waddenzee. Zo veel natuur is er per slot van rekening niet.

Het Nederlandse Waddengebied bevat veel gas. Reeds in de jaren 60 wordt aan enkele maatschappijen — o.a. de NAM, Mobil en Elf Petroland — een eeuwigdurende concessie verleend voor exploratie in een aanzienlijk deel van de Waddenzee, tussen het vasteland van Groningen en Friesland en de Waddeneilanden. In die tijd speelt het milieu in de politiek nog nauwelijks een rol. Illustratief is dat de bekende 'smeerpipen' uit Hoogkerk en de Veenkoloniën worden aangelegd die het afvalwater van suiker-, karton- en aardappelmeeelfabricage naar de Waddenzee afvoeren. Ongezuiverd; dat was althans de bedoeling.

Niet alleen had het milieu in het algemeen nog weinig aandacht, de ecologische, landschappelijke en economische betekenis van de Waddenzee stond nog ver van de dagelijkse bestuurspraktijk. Wat die economische betekenis betreft denk ik niet zozeer aan de gaswinning, als aan de kraamkamerfunctie voor de vis, aan het toerisme, aan de schelpdiervisserij en aan de zandwinning.

Eerst in 1976 werd een begin gemaakt met het opstellen van de bekende Waddenzeenota. Deze werd in 1980 vastgelegd, met als hoofddoelstelling de bescherming en het behoud van de Waddenzee. Vanaf dat moment lag er een spanning tussen de eerder uitgegeven eeuwigdurende concessies en de een decennium later vastgestelde hoofddoelstelling van het beleid. De ultieme vraag is of door het treffen van maatregelen gaswinning is in te passen zonder de hoofddoelstelling op te rekken.

Met die vraag is intussen zo'n 17 jaar geworsteld, en de wijze van besluitvorming is zeker niet oninteressant.

In december 1982 besluit het Kabinet - naar aanleiding van een op korte termijn te nemen beslissing over de aangevraagde concessie voor de winning van gas op 'Zuidwal' - dat binnen een half jaar een overzicht beschikbaar moet zijn van alle beleidsonderwerpen m.b.t. het Waddengebied waarover beslissingen moeten worden genomen. In het licht van dit overzicht zullen deelbeslissingen worden voorbereid. Er wordt derhalve rekening gehouden met een cumulatieve van milieu-effecten.

Juni 1983 is het overzicht beschikbaar, opgesteld

door de Interdepartementale Waddenzeecommissie (IWC). Weer een half jaar later komt Minister Winsemius met het voornemen de PKB Waddenzee partiel te herzien. Het Kabinet neemt — op basis van het genoemde overzicht — een aantal principebesluiten, o.a. op het gebied van de delfstofwinning.

In hoofdzaak komt het neer op het volgende:

- de concessie Zuidwal wordt verleend, onder stringente voorwaarden.
- aanhangige aanvragen om een boorvergunning worden niet ingewilligd. Deze hadden betrekking op gebieden die nog niet in een concessie waren uitgegeven.
- voor het reeds in concessie uitgegeven gebied zal overleg plaatsvinden met de concessionarissen teneinde te bereiken dat deze gebieden van boorwerken worden gevrijwaard. De concessionarissen zijn echter in principe gerechtigd in deze gebieden boringen te verrichten na overleg met de Planologische Werkcommissie. Er waren op dat moment overigens nog geen boorwerken aangemeld.

De hierop volgende inspraak-adviesronde toont grote verdeeldheid. Ook de RARO is verdeeld in zijn advisering.

Opnieuw een half jaar later, 25 juni 1984, beslist de regering in grote lijnen conform haar oorspronkelijke standpunt.

Aan het eind van 1984 en in het begin van 1985 vinden de onderhandelingen plaats tussen de regering en de concessionarissen. Met de NAM, Mobil en Elf Petroland wordt voor een periode van 10 jaar een moratorium overeengekomen voor alle mijnbouwactiviteiten in concessiegebieden vallende onder het gebied van de PKB Waddenzee.

De gaswinning blijft dan 7 1/2 jaar uit de openbare discussie.

Eind juni 1992 schrijft de NOGEP (Nederlandse olie en gas exploitatie en produktie associatie) aan Minister Alders dat de olie- en gasmaatschappijen geen verlenging van het moratorium willen, omdat zij menen zonder schade aan natuur en milieu in de Waddenzee naar aardgas te kunnen speuren, en dit gas ook te kunnen winnen.

Anders gesteld: gaswinning is mogelijk binnen de hoofddoelstelling voor het Waddengebied, de bescherming en het behoud van de Waddenzee. In die visie past dat men ook de mogelijkheid van gas-

winning wenst te krijgen in het deel van de Waddenzee dat nog in concessies is uitgegeven. De PKB maakt dit overigens onmogelijk.

De Wadden Advies Raad heeft als haar opvatting gegeven dat gaswinning in de Waddenzee uit oogpunt van nationale energievoorziening niet noodzakelijk is vóór het jaar 2010.

Bij de te nemen beslissing staan dezelfde vragen centraal als in 1976, 1980 en 1984:

- wat weten wij van de gaswinning?
- wat weten wij van de Waddenzee?
- welke effecten van de gaswinning kunnen met een redelijke mate van zekerheid worden voorspeld? Welke niet? Wat zijn de marges?

Het gaat vandaag om kennis en feiten. En om een open discussie. Uw aanwezigheid hier betekent dat u bereid bent die open discussie te voeren. Ik ben uw aandachtig toehoorder.

WADDENZEE, AARDGAS EN BODEMDALING: CONCLUSIES

W.J. WOLFF

DLO - Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek

De Waddenzee is met 2500 km² Nederlands grootste natuurgebied en wordt onder meer gekenmerkt door een grote rijkdom aan bodemdieren, vissen en wadvogels. Ook herbergt de Waddenzee de laatste populatie zeehonden in Nederland. Bovendien is voor velen het Waddenzeelandschap van grote schoonheid. Om die redenen is de Waddenzee sinds 1981 beschermd, evenals de Duitse en Deense delen van het gebied. Ook is de Nederlandse Waddenzee aangemeld als wetland van internationale betekenis bij het Verdrag van Ramsar en als Biosphere Reserve bij de Unesco. Aanmelding als World Heritage site bij Unesco wordt overwogen.

Gaswinning heeft potentieel verschillende effecten op natuur en landschap, maar hier wordt uitsluitend ingegaan op de mogelijke effecten van bodemdaling. Dat bodemdaling door delfstofwinning ecologische effecten **kan** hebben, blijkt bijvoorbeeld uit ervaringen in de Mississippi-delta.

De Waddenzee is een gebied waar veranderingen van de zeespiegel ten opzichte van het niveau van het land in het geologisch en historisch verleden altijd hebben gespeeld. De voordrachten van Drs. A.P. Oost en Dr. H. Schoorl illustreren dat. De verhouding tussen snelheid van zeespiegelstijging en de mate van aanvoer van sediment bepalen de uitkomst van de combinatie van beide processen. Bodemdaling door aardgaswinning is dus geen volkomen nieuw verschijnsel voor het wad; uitspraken daarover zijn even goed mogelijk als uitspraken over zeespiegelstijging in het verleden of over toekomstige zeespiegelstijging door mogelijke klimaatverandering.

H.J. Gussinklo presenteert de uitkomsten van de NAM met betrekking tot de verwachte bodemdalingen door de huidige gaswinningen in het Waddengebied en door de mogelijke nieuwe winningen. Deze nieuwe winningen worden verondersteld mogelijk te zijn op grond van de huidige kennis van de ondergrond; het zijn dus nog geen bewezen voorkomens. De gehanteerde rekenmodellen voorspellen bodemdalingen die uiteenlopen van 3 tot 15 cm met een onzekerheidsmarge van ca. 30%. Van Doorn & Pötgens geven aan dat de Rijksgeologische Dienst en het Staatstoezicht op de Mijnen de inzichten van de NAM over het algemeen delen. De voorspellingen van de bodemdaling moeten volgens hen worden beschouwd als 'state of the art'.

Het daadwerkelijk meten van effecten van bodem-

daling door aardgaswinning op het wad is in vele gevallen zeer lastig door de grote variabiliteit van het waddensysteem. Naar verhouding zullen de effecten gemakkelijk te meten zijn in de kwelders waar hoogteveranderingen van enkele centimeters reeds grote gevolgen kunnen hebben; op het wad en beneden de laagwaterlijn zal dat veel moeilijker zijn. Benadrukt moet worden dat moeilijk meetbaar echter niet betekent dat er geen effecten zijn.

Drs. A.P. Oost (Universiteit Utrecht) verwacht relatief weinig effecten op de sedimentologie en de morfologie van het wad achter het Friese Zeegat door de door de NAM aangegeven bodemdaling door aardgaswinning. Het zand-delend-systeem van zeegat en achterliggend wad zal optredende bodemdaling onmiddellijk trachten te compenseren door aanvoer van zand vanuit de buitendelta en de kustzone in het algemeen. Hooguit zal de compensatie enigszins achterlopen bij de daling. Dr. J. Mulder, die de inzichten van de Rijkswaterstaat weergeeft, deelt de conclusies van Oost en geeft aan dat de eventuele problemen voor de kustverdediging gemakkelijk zijn op te vangen door zandsuppleties met zand vanuit de Noordzee.

Drs. K.S. Dijkema (DLO - Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek) laat zien dat bodemdaling in kwelders zal worden gecompenseerd door sedimentatie van slib. Dat slib is in de Waddenzee reeds in overmaat aanwezig; de factoren die de sedimentatie bepalen zijn de hoogteligging van de kwelder en de mate van waterbeweging. De laatste factor kan worden beïnvloed door aanleg van nieuwe en verhoging van bestaande rijzen dammen langs de kust van het vasteland. Op grond van onderzoek naar het gedrag van kwelders in het verleden geeft hij aan dat de vastelandkwelders een bodemdaling van ruim 1 cm per jaar kunnen opvangen, terwijl de kwelders op de eilanden in staat zullen zijn een daling van 0,5 cm per jaar te compenseren. Voor enkele deelgebieden beveelt hij echter extra aandacht aan. In het algemeen stelt Dijkema dat de ecologische effecten van de door de NAM aangegeven bodemdaling door gaswinning binnen de natuurlijke variatie van het systeem zullen liggen.

Dr. C. Swennen (Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee) verwacht bij de voorspelde bodemdalingen weinig of geen effecten op vogels die hun voedsel op het wad zoeken, maar vestigt wel de aan-

dacht op de precare positie van vogels die op kwelders en kleine eilanden broeden. Voor deze soorten kunnen een paar centimeter reeds een groot verschil maken.

Samenvattend kan worden gesteld dat bodemdaling in het waddengebied zal worden gecompenseerd door de aanvoer van zand en slib. Hoogstens tijdelijk zal de compensatie achterblijven bij de daling. Daardoor worden weinig ecologische effecten op de eigenlijke wadplaten verwacht. In zijn algemeenheid kan men stellen dat organismen die hun belangrijkste levensfase hebben als het wad onder water staat, dus tijdens hoogwater (algen, bodemdieren, vissen), wellicht tijdelijk een klein voordeel zullen hebben, terwijl organismen die afhankelijk zijn van het wad tijdens laagwater (vogels) tijdelijk een zeker nadeel zouden kunnen ervaren. Op de kwelders worden nauwelijks ecologische effecten verwacht; extra aandacht wordt aanbevolen voor enkele specifieke gebieden en voor broedvogels van het buitendijkse gebied. Het grootste probleem van de bodemdaling blijkt de zandonttrekking aan de kustzone te zijn. Zonder tegenmaatregelen moet versterkte erosie van de Noordzeekust van de waddeneilanden worden verwacht.

Ir. E.C. Smith (Landelijke Vereniging tot Behoud van de Waddenzee) stelt dat aardgaswinning niet alleen bodemdaling tot gevolg heeft. Bovendien benadrukt hij dat de voorspelde bodemdaling is gebaseerd op aannames die ongunstiger zouden kunnen uitvallen. Hij concludeert dat aardgaswinning hoe dan ook een negatieve invloed heeft op de natuurwaarden van de Waddenzee.

Alle voordrachten overziend, moet allereerst wor-

den vastgesteld dat het symposium uitsluitend betrekking heeft gehad op de effecten van bodemdaling door aardgaswinning. De ecologische en andere effecten daarvan op de Waddenzee en zijn kwelders worden verwacht klein tot zeer klein te zijn. Wel is zonder mitigerende maatregelen een aanmerkelijk effect op de Noordzeekust van de eilanden mogelijk.

Dit leidt tot de vraag welke criteria gebruikt zouden kunnen worden om de toelaatbaarheid van aardgaswinning en de daardoor veroorzaakte bodemdaling te beoordelen. Geconstateerd wordt dat natuurwetenschappelijke methodes kunnen leiden tot kwantificering van verwachte effecten, maar dat beoordeling van de betekenis en de ernst van de effecten buiten het terrein van de natuurwetenschappen ligt. Bovendien zullen in de oordeelsvorming niet alleen natuurwetenschappelijke argumenten in aanmerking behoeven te worden genomen.

BESPIEGELINGEN VAN ÉÉN VAN DE VOORZITTERS

Ik zou de volgende punten willen noemen:

- Het blijkt mogelijk, wanneer men een goed gedefinieerd probleem aanbiedt, om vanuit verschillende natuurwetenschappelijke disciplines tot zeer duidelijke en concrete uitspraken te komen over het verwachte gedrag van een ingewikkeld systeem.
- De deskundigen blijken in hoge mate met elkaar overeen te stemmen. De discussie gaat over details en ook hier is er de bereidheid om naar elkaar te luisteren.

DE HISTORISCHE ONTWIKKELING VAN HET WADDENZEEGEBIED

H. SCHOORL

Aan de west- en noordwestzijde wordt het westelijk Waddenzeegebied van de Noordzee gescheiden door een convexe kustboog bestaande uit de Kop van Noord-Holland, Texel, Vlieland en Terschelling. Deze kustboog maakt, met uitzondering van Terschelling, deel uit van een pleistoceen hooggelegen gebied, waartoe buiten de kustboog onderzees 'De Stenen' (Vlieland Roughts) behoren. Terschelling is daarop aansluitend opgebouwd uit erosiezanden.

In het patroon van de megabanken rond 'De Stenen' is de omvang daarvan nog steeds herkenbaar.¹ De Kop van Noord-Holland sloot westwaarts uitbuidend aan op dit gebied en was, samenhangend met de erosie daarvan, aan afschuring onderhevig.

In de loop van de eeuwen werd de convexe kustboog 'afgevlakt'. In deze kustboog vormden de grote zeegaten Marsdiep en Vlie de toegang tot de westelijke Waddenzee. Het Eierlandse Gat was en is van geringer betekenis. Vloed transporteerde zand naar de banken in de Waddenzee, eb door geulschuring naar de buitendelta's. Belangrijk is de vraag waar en

hoe zandtransport plaatsvond en waar zand aan de kust werd onttrokken.

In het kader van deze bijeenkomst komt het me voldoende voor ons te beperken tot de laatste vier eeuwen, ca 1600 tot heden. Marsdiep en Vlie hebben dan hun verloop in de Waddenzee min of meer gestabiliseerd.

In het afschuringsproces van de convexe kustboog leed de Kop van Noord-Holland sedert de late Middeleeuwen aanzienlijk verlies, waarbij het Marsdiep zich geleidelijk zuidwaarts verplaatste met landwinst aan de Zuidtexelse kust. Sedert 1750 lukte het de kustverdediging de Huisduiner-Helderse oever met dijkversterkingen te behouden, waardoor de Kop van Noord-Holland als zandbron veel van zijn betekenis verloor.²

De aanval op de convexe kustboog zette zich noordelijker in hevige mate voort met sterke erosie van West-Vlieland. Het dorp Westvlieland met zijn polder-tjes — zeewaarts van de huidige Kroonpolders gelegen — verdween in zee. In het midden van de 18e

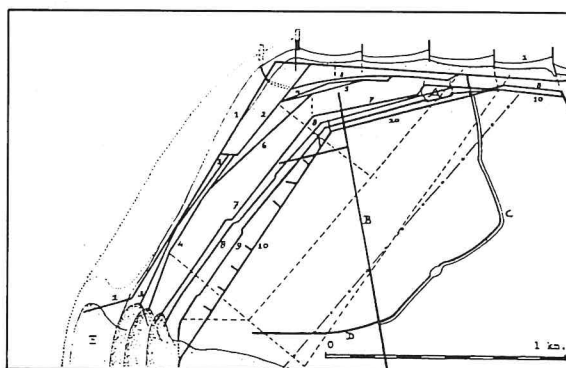
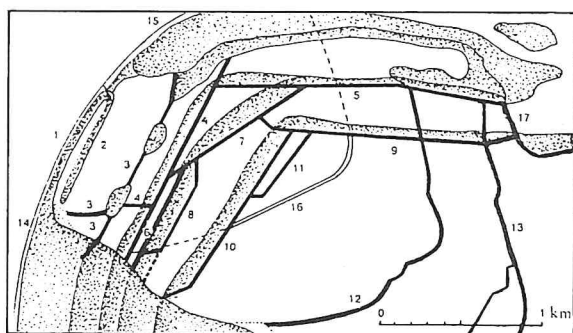


Fig. 1. Het kustverlies aan de Kop van Noord-Holland tussen ca 1500 en 1750 (SCHOORL, 1973).

Links: Inlaagdijken te Huisduinen 1510-1691. 1 en 2 vóór 1571; 3. Kijfdijk, 1571; 4. Groene Dijk, 1484; 5. noordelijke inlaagdijk, vóór 1599; 6. verlenging van 4, reeds vóór 1604 aangebracht, ingelegd 1642; 7. inlaagdijk 1626, hoeksverkorting; 8. inlaagdijk 1662 met een kadijkje verlengd in 1663; 9. noordelijke inlaag 1662; 10. inlaagdijk 1666; 11. inlaagdijk 1691; 12. Oudelanderdijk; 13. Koogdijk; 14. Kijkduin; 15. Noordduin; 16. Papenesserweg (-dijk); 17. Voorziening 1599.

Rechts: Inlaagdijken te Huisduinen 1688-1750. 1. inlaagdijk 1666; 2. inlaag 1691; 3. terugname van de dijk door 'overmollen' van zand, 1721; 4. idem, 1722; 5. voortgezet 'overmollen', 1722-1725; 6. inlaagdijk 1726; 7. dijkterugname 1742-1743; 8. inlaagdijk 1744; 9. terugname 1745-1746; 10. inlaagdijk 1749, in 1750 met acht korte hoofden versterkt. A. gedempt wiel; B-C. zandvaarten; D. restant Oudelanderdijk; E. Kijkduin.

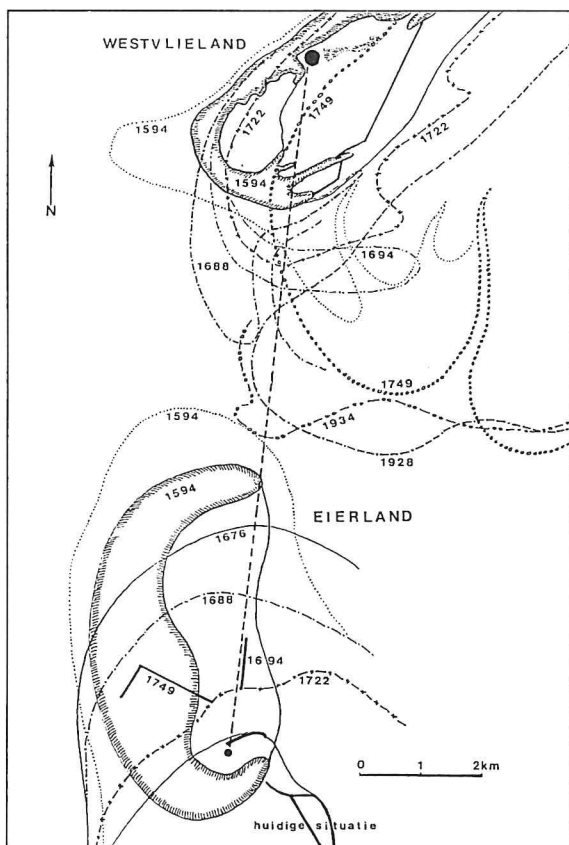


Fig. 2. Het kustverlies te West-Vlieland tussen ca 1600 en heden (SCHOORL, i.v.)

eeuw volgde een doorbraak waarvan de onstabiele vorm van de Vliehors, omstreeks 1815 opgemeten, en in 1823 figurerend op de eerste Topografische kaart van de Noordelijke Provinciën, de recente vorming van de Vliehors demonstreert.³

Het Eierlandse Gat verplaatste zich met aanzienlijk verlies van Eierlandse kust zuidwaarts. In de loop van de 19e eeuw stabiliseerde zich de Vliehors.

Tijdens het afbraakproces van West-Vlieland vond belangrijk zandtransport naar de Vliemonding plaats, waardoor in de loop van de 18e/19e eeuw de buitendelta van het Vlie zich uitbreidde, het Stortemelk tijdelijk verzandde, Oost-Vlieland enige aanwas vertoonde, maar de grootste cumulatie van zanden in de oostelijke helft van de buitendelta plaatsvond, waarbij West-Terschelling met de Noordsvaarder werd uitgebreid.⁴

Sedert 1750 was de belangrijkste zandbron voor de zuidwestelijke Waddenzee in betekenis sterk afgenomen; het verlies van West-Vlieland had vooral voor groei van Terschelling gezorgd; de verplaatsing in zuidelijke richting van het Eierlandse Gat en het verlies van Eierlandse gronden voor ophoging van pla-

ten beoosten dit gat. Afvlakking van de buitendelta van het Vlie droeg bij aan de banken in het wantigebied van Vlie en Amelanders Gat.

De noodzakelijk geworden kustverdediging van de Kop van Noord-Holland, van Eierland en Vlieland toont aan dat geen belangrijke zandbronnen meer aanwezig zijn, verhoging van de zeespiegel of daling van de bodem van de Waddenzee zullen — als zij zich al voor zullen doen — zeker nadelig voor de te verdedigen eilandkusten zijn.

LITERATUUR

1. ALPHEN, J.S.L. VAN & M.A. DAMOISEAUX, 1987. A morphological map of the Dutch shoreface and adjacent part of the continental shelf. R.W. nota NZ-N-87/MDLK-R-87.18; kaarten Meetk. Dienst Delft
2. WESTENBERG, J., 1961. Oude kaarten en de geschiedenis van de Kop van Noord-Holland. Verh. KNAW, afd.

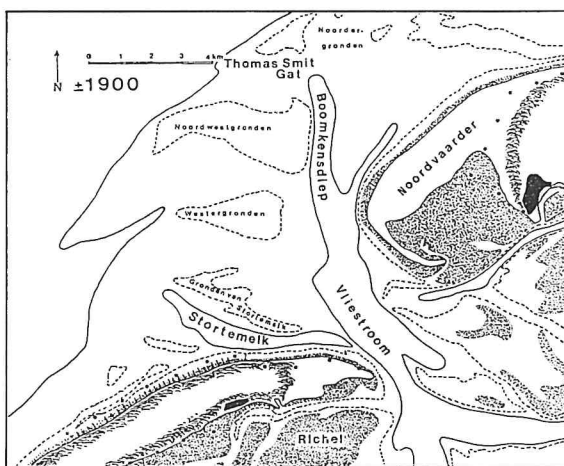
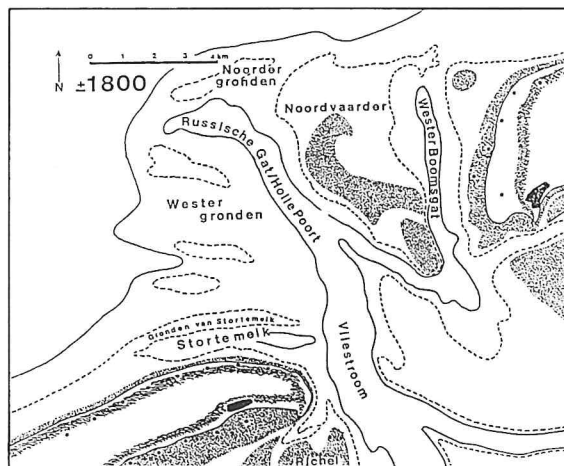


Fig. 3. De buitendelta van het Vlie in ca 1800 en 1900 (naar JOUSTRA, 1971).

Natuurk. 1e reeks, dl. XXIII (2), Amsterdam

SCHOORL, H., 1973. Zeshonderd jaar water en land. Bijdrage tot de historische geo- en hydrografie van de Kop van Noord-Holland in de periode $\pm$ 1150-1750. Verh. KNAG nr. 2, Groningen.

3. SCHOORL, H., i.v. De convexe kustboog Texel-Vlieland-Terschelling. Reconstructie naar oude kaarten.

4. ——. Reconstructie naar D.Sj. Joustra: Geulbeweging in de buitendelta's van de Waddenzee. Studierapport W.W.K. 71-14.

HISTORISCHE ONTWIKKELING VAN DE OOSTELIJKE WADDENZEE EN DE MORFOLOGISCHE GEVOLGEN VAN BODEMDALING DOOR GASWINNING

A.P. OOST

Vergelijkende Sedimentologie, Vakgroep Geologie, Instituut voor Aardwetenschappen, Universiteit Utrecht, Postbus 80.021, 3508 TA Utrecht

STELLINGEN

- De Waddenzee is een bijzonder dynamisch gebied; het statisch vasthouden aan bestaande situaties kan op de lange termijn een bedreiging vormen voor de Waddenzee als geheel.
- De bodemdaling door gasonttrekking zal, indien geen kritische drempels worden overschreden, geen belangrijke gevolgen hebben voor de Waddenzee; veel belangrijker is de vraag waar het sediment, dat nodig is om de bodemdaling te compenseren, vandaan komt.

De laatste stelling heeft betrekking op de morfologische gevolgen. Voor effecten op kwelders zie Dijkema, voor vogels zie Swennen.

INLEIDING

Samen vormen de Nederlandse, Duitse en Deense Waddenzee één van de belangrijkste natuurgebieden in West-Europa en één van de grootste intergetijdgebieden (bij eb droogvallende platen) op aarde. De sterke natuurlijke dynamiek, die bepalend is voor het karakter van dit gebied, komt duidelijk naar voren in de ontwikkeling van de oostelijke Waddenzee.

GEOLOGIE/VROEGE HISTORIE

De oostelijke Waddeneilanden en het daarachter liggende gebied werden zo'n 5000 jaar geleden, na de laatste IJstijd, gevormd. Onder invloed van de doorgaande stijging van de zeespiegel trokken de Wad-

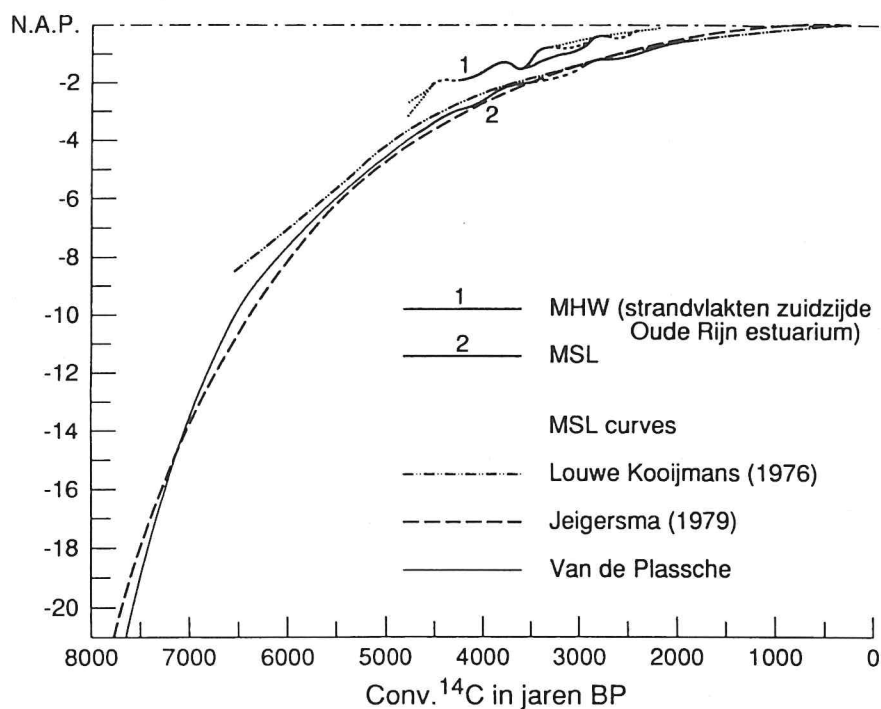


Fig. 1. Gemiddelde zeespiegelcurves (waterstand en jaren (0= heden) van diverse studies en 1= gemiddelde hoogwaterlijn gebaseerd op strandvlakte-afzettingen (Oude Rijn estuarium) [VAN DE PLASSCHE, 1982].

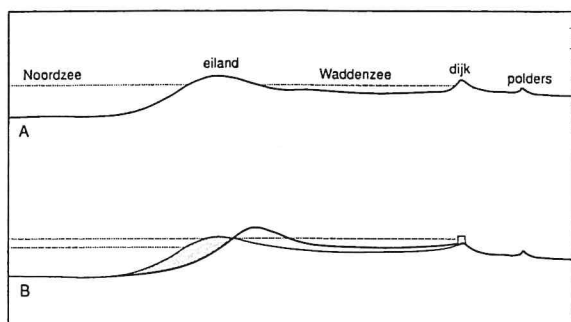


Fig. 2. Kustwaartse terugtrekking van de Waddeneilanden onder invloed van de stijgende zeespiegel [naar VAN STRAATEN, 1975].

deneilanden en het achterliggende gebied zich landwaarts terug [VAN STRAATEN, 1975] (Fig. 1 & 2). Voor Ameland en Schiermonnikoog bedroeg deze terugtrekking 11 resp. 15 km over de laatste 5000 jaar [SHA, 1992].

In historische bronnen wordt al in de Grieks/Romeinse tijd gesproken van Waddeneilanden en intergetijde gebieden in het oostelijke Waddengebied. Veenafgraving in de vroege middeleeuwen speelde een belangrijke rol bij de vorming van inhammen in het oostelijk Waddengebied (Dollard, Lauwerszee en mogelijk Middelzee) [EDELMAAN, 1964; BOS & VOS, 1992]. Vanaf ongeveer 1100 nam de menselijke invloed steeds verder toe, met name door bedijkningen en door het stabiliseren van duinen.

Rond 1300 lag het wantij (de waterscheiding) van Schiermonnikoog waarschijnlijk nog op de Friese kust (Fig 3). De voorloper van het zeegat de Zoutkamperlaag (westelijk van Schiermonnikoog) was toen nog klein en had geen verbinding met de Lauwerszee. Deze werd toen nog geheel gedraineerd door het Lauwers Zeegat [BOS & VOS, 1992; OOST, in voorb.a].

Het wantij van Schiermonnikoog werd vermoedelijk in de periode 1350-1450 doorbroken. Daarmee werd het dynamisch evenwicht tussen de Zoutkamperlaag en het Lauwers Zeegat verbroken. De drainage van de Lauwerszee werd vrij snel overgenomen door de Zoutkamperlaag. Die werd daarbij breder en dieper. Rond 1550 had het Lauwers Zeegat zijn drainagefunctie voor de Lauwerszee reeds geheel verloren [FORMSMA, 1954, 1958]. De toename van breedte en diepte van de Zoutkamperlaag ging samen met een sterke oostwaartse verplaatsing van Schiermonnikoog, waardoor het zeegat een betere positie kreeg om de Lauwerszee te draineren. Door deze ontwikkeling erodeerde Schiermonnikoog sterk aan de westzijde (4,5 km tot 1850) en groeide aan aan de oostzijde (8 km tot 1850) [OOST, in voorb.a].

Ondanks deze sterke veranderingen en een gemiddeld, stijgende zeespiegel heeft het oostelijke Waddengebied zich tot op de dag van vandaag weten te handhaven als een intergetijde-gebied.

ZAND DELEND SYSTEEM

De verschillende onderdelen van de Waddenzee zijn onderling gekoppeld met, voor een deel vrijwel lineaire, relaties [O'BRIEN, 1969; DEAN & WALTON, 1975; HAYES, 1975; JARRETT, 1976; WALTON & ADAMS, 1976; GERRITSEN & DE JONG 1985; WOLFF, 1986; FITZGERALD, 1988; STIVE & EYSINK, 1989; GERRITSEN, 1990; HUME & HERDENDORF, 1990; NIEMEYER, 1990; SHA, 1990; BIEGEL, 1991a, b; EYSINK & BIEGEL, 1992; OOST & DE HAAS, 1992]. De buitendelta, de aangrenzende eilandpunten, het zeegat, de geulen en de platen van één zeegat-sys-

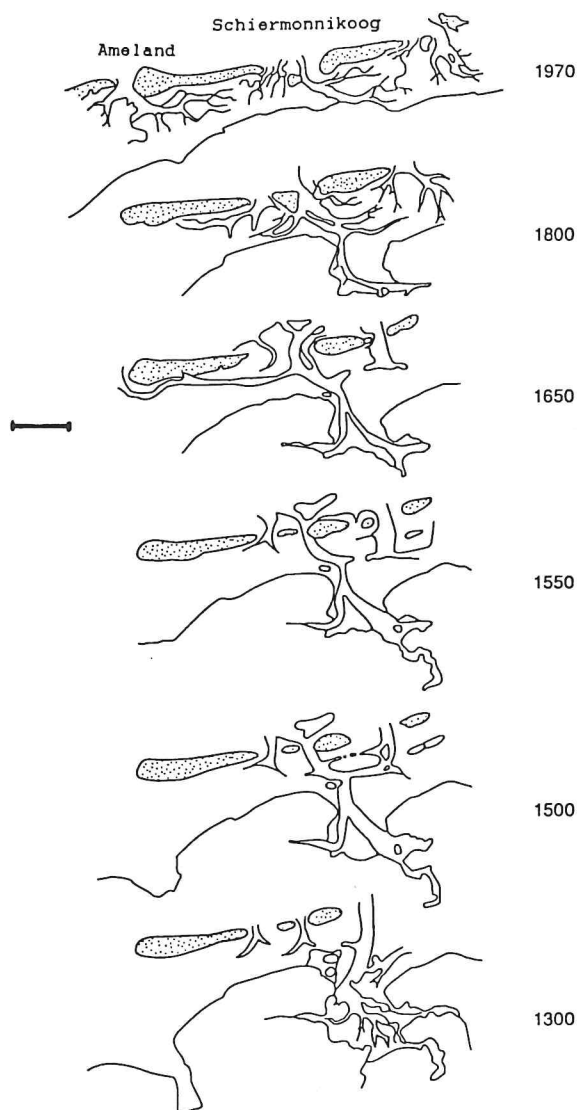


Fig. 3. Ontwikkeling van het Waddengebied tussen Ameland en Schiermonnikoog, balkje geeft 10 kilometer aan in oost-west richting [OOST, in voorb. a].

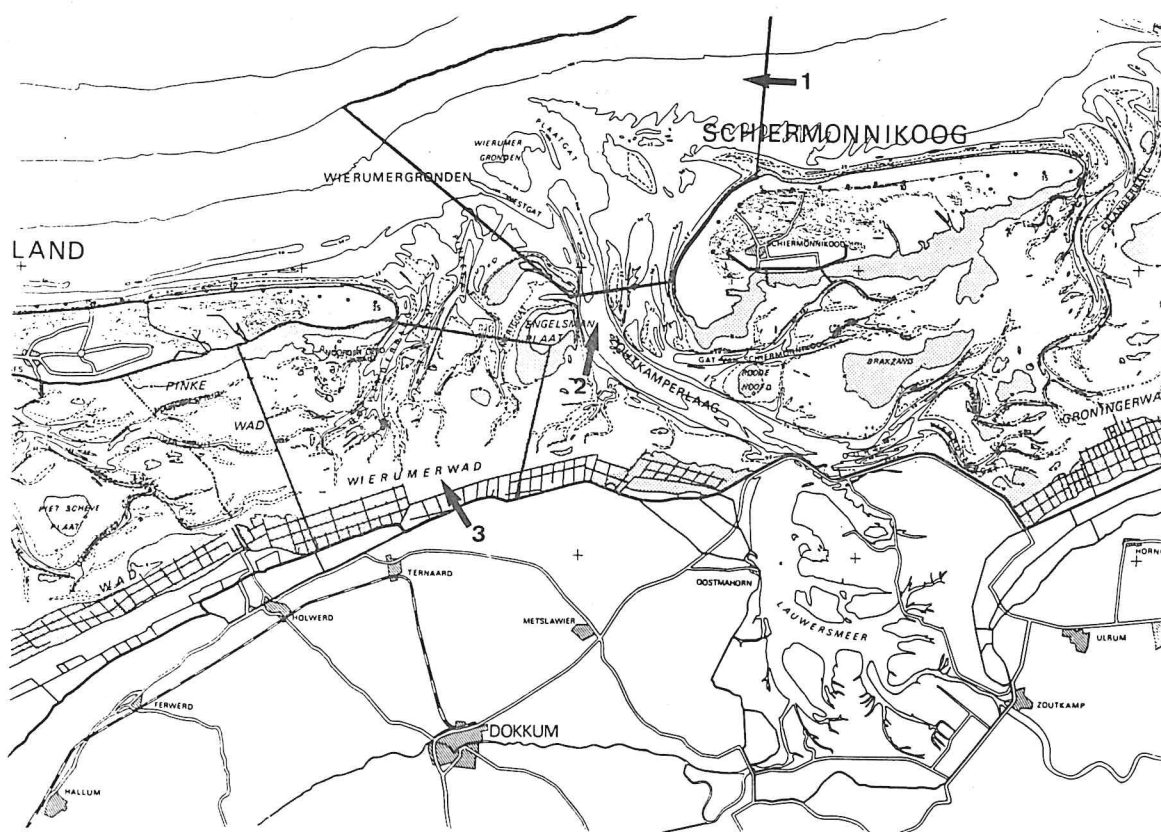


Fig. 4. Het gebied tussen Ameland en Schiermonnikoog, gridafstand (kruisjes) bedraagt 10 kilometer. Verklaring van de nummers: 1= *buitendelta* (delta-vormig sedimentlichaam, gevormd door golven en getijdestromen, met name de ebstroom) van de Zoutkamperlaag, 2= *zeegat* (geul die verbinding vormt tussen hoofdgeul en de zee) van de Zoutkamperlaag, 3= *vloedkom* (deel van de Wadden dat gedraineerd wordt door één zeegat) van het Pinkegat, linkerlijn loopt over het *wantij* (plaats waar de vloedstromen langs de oost- en west-zijde van het eiland elkaar ontmoeten) van Ameland [kaart Rijkswaterstaat].

teem vormen samen een 'Zand Delend Systeem' [OOST & DIJKEMA, 1993]. Verstoringen binnen zo'n Systeem worden in eerste instantie opgevangen door aanvoer van sediment uit andere delen van hetzelfde Systeem [DEAN, 1988]. Is de verstoring permanent dan past het Systeem als geheel zich aan en stelt zich een nieuw dynamisch evenwicht in. Is de verstoring tijdelijk (dat wil zeggen als de controlerende parameters, o.a. getijdevolume, golfklimaat en zeespiegelstijgingsnelheid, niet permanent veranderen) dan zal het Systeem terugkeren naar zijn oorspronkelijke (dynamische) evenwicht [EYSINK, 1992; OOST & DIJKEMA, 1993]. In beide gevallen kan sediment van buitenaf worden aangevoerd of er naar toe worden afgevoerd. Het Zand Delend Systeem-concept laat zich illustreren met behulp van de historische ontwikkeling van de zeegaten Pinkegat en Zoutkamperlaag (Fig. 4).

PINKEGAT

De ontwikkeling van het Pinkegat is sterk cyclisch: van een enkelvoudig zeegat (één hoofdgeul) tot een meervoudig zeegat (twee of meer hoofdgeulen) en weer terug (Fig. 5) [OOST & DE HAAS, 1993]. Tijdens een enkelvoudige fase is het zeegat diep en schuift het op in oostelijke richting. Hierbij wordt de oostpunt van Ameland langer. Daardoor moet de vloed een steeds langere weg afleggen naar de vloedkom van het Pinkegat. Na verloop van tijd worden in de zandplaat aan de oostpunt nieuwe zeegaten uitgeschuurd en ontstaat een situatie met een meervoudig zeegat. In zo'n meervoudige zeegat-situatie zijn de geulen ondieper. Een meervoudig zeegat is instabiel [VAN DE KREEKE, 1990] en na enige tijd verzandt een deel van de geulen totdat slechts één geul overblijft [OOST & DE HAAS, 1992, 1993; HUIJS, 1993]. De verstoringen, die

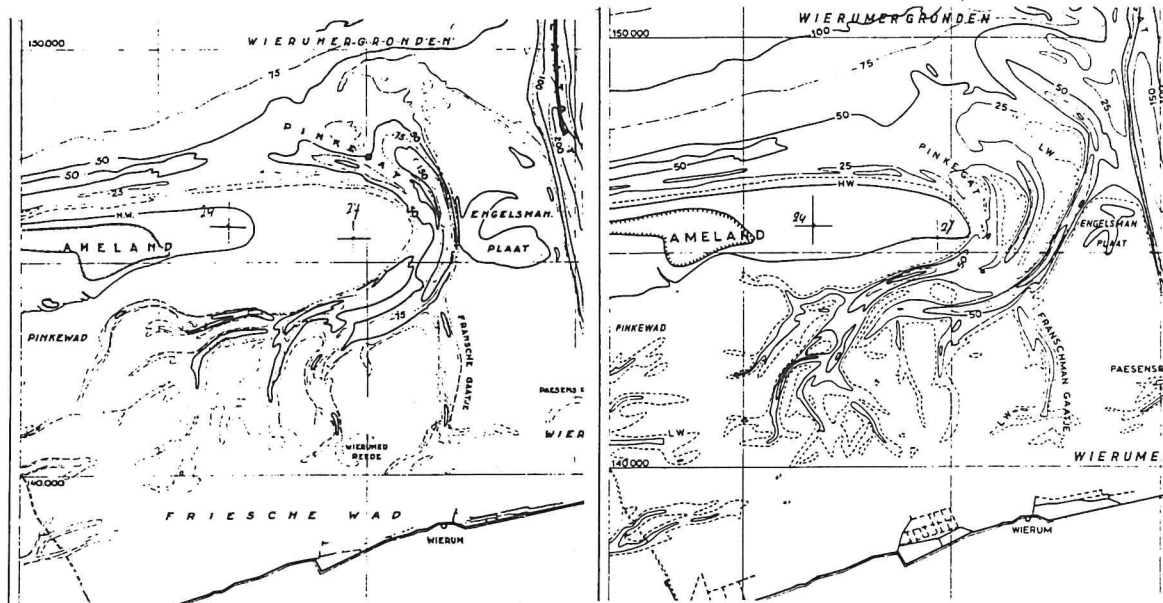


Fig. 5A. Situatie 1927 (enkelvoudig Pinkegat) en (5B). 1949 (meervoudig Pinkegat), gridafstand = 5 kilometer (data Rijkswaterstaat).

worden veroorzaakt door de cyclische verandering van een enkelvoudig zeegat naar een meervoudig zeegat, worden door het Zand Delend Systeem van het Pinkegat opgevangen door binnen het Zand Delend Systeem grote hoeveelheden sediment te verplaatsen.

Een cyclus duurt 2 tot 4 decennia. Het netto effect van dit cyclische gedrag, is dat de oostpunt van Ameland én ook de hele vloedkom van het Pinkegat sinds 1800 zo'n 4,5 km naar het oosten is opgeschoven (Fig. 6). De verkleining van het oppervlak van de vloedkom ten gevolge van het opschuiven van het wantij wordt gecompenseerd doordat de westzijde van de Engelsmanplaat (oostelijk van het Pinkegat) steeds verder wordt geërodeerd (Fig 7). In decennia tot een eeuw zal waarschijnlijk daardoor de Engelsmanplaat verdwijnen, zullen het Pinkegat en de Zoutkamperlaag versmelten en zal zich zo een nieuw zeegatsysteem ontwikkelen [OOST & DE HAAS, 1993].

ZOUTKAMPERLAAG

Ten gevolge van de oppervlakte-verkleining door het afsluiten van de Lauwerszee in 1969 nam het getijdenvolume van de Zoutkamperlaag met een derde af (van $305 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ tot $200 \cdot 10^6 \text{ m}^3$). Daardoor had de buitendelta plotseling een te groot zandvolume. Daarnaast werden door de verkleining van het getijdenvolume de hals van het zeegat en de hoofdgeul te diep en hadden daarmee een te groot stroomvoerend oppervlak.

Onder invloed van de relatief (t.o.v. de getijdebewegingen) toegenomen golfwerking werd een deel van het sediment van de buitendelta geconcentreerd in

een zandhaak vóór de kust van Schiermonnikoog. Het leeuwedeel van het sediment dat werd geërodeerd in de buitendelta ($26 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ in de periode 1970-1987) werd echter getransporteerd naar de vloedkom. Daar kwam het voor een groot deel tot afzetting in de hals van het zeegat en in de hoofdgeul. Daardoor werd het stroomvoerend oppervlak weer verkleind en raakte het beter afgestemd op het

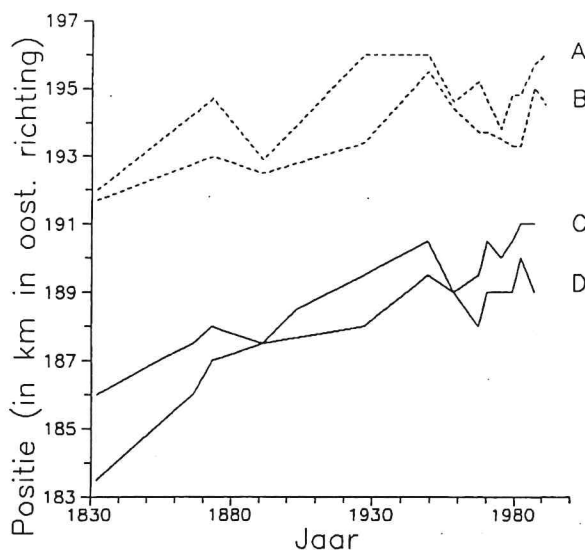


Fig. 6. Verplaatsing van de oostpunt van Ameland (A = -2,5 m-lijn, B = laagwaterlijn) en het wantij onder Ameland (C = zuidelijk wantij, D = noordelijk wantij) [OOST & DE HAAS, 1993].

verkleinde getijdevolume dat er, na de afsluiting van de Lauwerszee, doorheen stroomde [BIEGEL, 1991a, b; OOST & DE HAAS, 1992; OOST e.a., 1993].

Daar de Lauwerszee blijvend is afgesloten is de verstoring hier permanent. Grote hoeveelheden sediment binnen het Zand Delend Systeem van de Zoutkamperlaag zijn blijvend verplaatst. Aldus bereikt het systeem geleidelijk een nieuw evenwicht.

MOGELIJKE GEVOLGEN VAN GASWINNING

Bodemdaling

De gevolgen van bodemdaling door gaswinning vormen een belangrijk vraagstuk, naast overige milieu-technisch/ecologische, ethische, juridische en economische aspecten. De bodemdaling ten gevolge van gaswinning van de nieuwe velden (data NAM, gemiddeld over een vloedkom) ligt in de orde van grootte van tienden van millimeters tot millimeters per jaar in de eerste 10 jaar, om daarna geleidelijk af te nemen. Omdat na verloop van tijd de bodemdaling stopt, veranderen de controlerende parameters niet permanent en zullen alle onderdelen van het Zand Delend Systeem weer naar hun oorspronkelijke evenwichtstoestand streven, zodat hierbij per saldo geen sediment beschikbaar komt binnen het Zand Delend Systeem.

Het sediment, dat nodig is om de bodemdaling te compenseren, moet door de natuur uiteindelijk van buiten het Systeem worden aangevoerd. Er is een bovengrens aan de hoeveelheid sediment die maximaal per jaar kan worden afgezet. Deze wordt vooral bepaald door de hoeveelheid zand (10-15% van het

Waddenzee-sediment is klei) die jaarlijks via het zee-gat naar binnen wordt gebracht (zand-influx). Van deze hoeveelheid zand komt maar een deel permanent tot afzetting; de rest wordt weer naar buiten getransporteerd [EYSINK, 1979; 1993a]. Bodemdalingskommen zullen daarom niet onmiddellijk volledig worden opgevuld. Dit gebeurt asymptotisch in de tijd en duurt meerdere *decennia tot meer dan een eeuw* onder de nu heersende controlerende condities (o.a. snelheid van zeespiegelstijging, golfklimaat en sedimentaanbod), zoals blijkt uit opvulling van grote zandwingaten, veranderingen na afsluitingen en modelberekeningen (tabel 1) [RIJKSWATERSTAAT, 1978; RAKHORST & VAN DER GOES, 1978; EYSINK, 1979, 1987, 1991, 1992, 1993b; KOLK & SCHALKERS, 1980; VROOM e.a., 1989; BIEGEL, 1991b; OOST & DE HAAS, 1992; RIJKSWATERSTAAT, 1993]. Indien voor andere verstoringen (bijv. verdwijnen Engelsmanplaat) ook sediment nodig is zal de opvulling naar verwachting langzamer verlopen.

TABEL 1

Voorspelling opvulling van de bodemdalingskommen (door winning nieuwe velden) door EYSINK [1993b].

Vloedkom	S_0 ($10^6 \text{ m}^3/\text{J}$)	dV_{NAM} (10^6 m^3)	dS_{max} ($10^6 \text{ m}^3/\text{J}$)	t (J)
Marsdiep	2,65	0,8	0,004	217
Eierlandse gat	0,4	1,6	0,024	62
Vlie	3,4	7,3	0,026	282
Borndiep	0,85	9,8	0,054	177
Pinkegat	0,1	3,9	0,090	36
Zoutkamperlaag	0,5	9,1	0,132	64
Eilanderbalg	0,1	1,1	0,031	30
Lauwers	0,75	1,6	0,020	75
Schild	0,1	0,1	0,003	29

Waarin:

S_0 = Huidige jaarlijkse zandhonger

dV_{NAM} = Voorspelde toename kominhoud door bodemdaling als gevolg van winning nieuwe velden (data NAM) (= totale sedimenthonger)

dS_{max} = Uit dV_{NAM} resulterende maximum extra jaarlijkse sedimenthonger ten gevolge van opvullen dalingskom

t = Karakteristieke tijd voor opvullen van dalingskom na eerste 10 jaar door tot bezinking komen van zand (slib-sedimentatie is **niet** meegerekend).

In een periode $1t$ wordt 63%, in een periode $2t$ wordt 86% van de kom opgevuld. De karakteristieke tijd t geeft met name bij de grotere verstoringen (Pinkegat tot en met Eilanderbalg) een reëel beeld van de opvullingstijd. Voor de overige, relatief kleine, verstoringen mag verwacht worden dat de opvulling in werkelijkheid sneller verloopt ten gevolge van natuurlijke fluctuaties in het systeem [EYSINK, 1993b]. De dalingskommen zullen over het algemeen in een meerdere decennia tot meer dan een eeuw worden opgevuld [Eysink, 1993b].

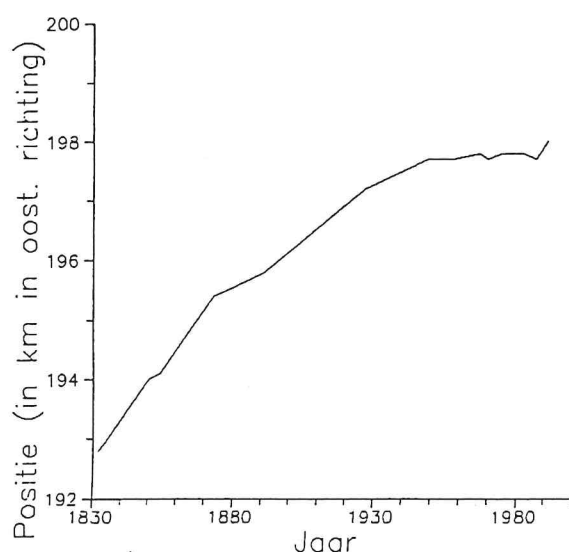


Fig. 7. Erosie van de westzijde van de Engelsmanplaat [OOST & DE HAAS, 1993].

Verwacht wordt dat de sedimentaire aanpassing op de intergetijde platen sneller zal verlopen, omdat de bodemdaling daar relatief een grotere invloed heeft op de hydrodynamische omstandigheden (procentuele dieptetoename groter) dan boven de geulen (modelberekeningen door EYSINK [1993b] geven aan dat de daling van het plaatoppervlak t.o.v. gemiddeld zeeniveau maximaal 3 cm bedraagt) [zie ook SIEFERT, 1987; HOFSTEDE, 1989; BIEGEL, 1991a; EYSINK, 1991; EYSINK & BIEGEL, 1992; OOST & DE HAAS, 1992, 1993]. Ook de afname van het plaatareaal zal daarom naar verwachting gering zijn en uiteindelijk worden hersteld. Indien (hypothetisch) geen enkele sedimentatie zou optreden, dan zou de afname van het plaatareaal ten gevolge van gaswinning (nieuwe velden) in de vloedkommen van het Zeegat van Ameland, het Pinkegat en de Zoutkamperlaag tezamen 1,1% bedragen [OOST & DIJKEMA, 1993]. In werkelijkheid zal het (tijdelijke) plaatverlies gering zijn, omdat wel sedimentaire plaats zal vinden.

Sedimentaanvoer

Zoals gesteld, zal uiteindelijk het sediment, dat nodig is om de bodemdaling op te vangen door de natuur van buiten het Zand Delend Systeem worden aangevoerd. Ruwweg zijn er twee bronnen van sediment: *slib en zand*.

Het slib zweeft in het zeewater en wordt op deze manier bij elke vloed vanuit de Noordzee in de Waddenzee naar binnen gebracht [KAMPS, 1956; POSTMA, 1961; EISMA & KALF, 1987]. Het slib is in het zeewater in ruime mate aanwezig en wordt door een reeks van mechanismen geconcentreerd en afgezet in de Waddenzee [o.a. KAMPS, 1956; VAN STRAATEN & KUENEN, 1958; POSTMA, 1961; VAN STRAATEN, 1964; EISMA, 1981, 1986; EISMA, in voorb.; EISMA e.a. 1991]. Het komt tot afzetting op en nabij de kust van het vasteland en de waterscheidingen. Een belangrijke bijdrage aan het vastleggen van slib wordt geleverd door mosselen en kokkels [VERWEY, 1952; KAMPS, 1956; VERHAGEN, 1982; EISMA, 1986; DANKERS & KOELEMAIJ, 1990; EISMA e.a. 1991; OOST, in voorb. b]. Beide soorten schelpdieren filteren zeewater (*filterfeeders*) en leggen daarbij grote hoeveelheden slib vast in de vorm van uitwerpselen.

Door intensieve bevissing, in combinatie met een aantal stormwinters, is de *mossel* (en daarmee haar slibvangende werking) momenteel *nagenoeg geheel verdwenen* uit de oostelijke Waddenzee. Het blijven vasthouden aan bestaande rechten tot overbevissing van de mossel in de oostelijke Waddenzee is daarom geen goede zaak, óók niet indien geen gas wordt gewonnen. Mocht tot nieuwe gaswinningen worden overgegaan dan kunnen de filterfeeders een belangrijk deel (theoretisch tot enige tientallen procenten) van de extra sedimenthonger van het gebied opvangen [vgl. VERWEY, 1952; DANKERS e.a., 1989; DANKERS & KOELEMAIJ, 1990; DIJKEMA, 1991; OOST, in voorb.

b]. Een herstel van een natuurlijke filterfeeder populatie (mosselen en kokkels vormden oorspronkelijk elk zo'n 15% van de bentische biomassa [BEUKEMA, 1976]) en de daarmee geassocieerde invertebraten zou bovendien de foerageermogelijkheden voor vogels aanzienlijk verbeteren. Ook een eventuele, tijdelijke vermindering van foerageermogelijkheden ten gevolge van de bodemdaling door gaswinning zou, afhankelijk van de foerageerwijze, hiermee geheel of gedeeltelijk kunnen worden opgevangen.

Zand vormt het belangrijkste deel van het sediment dat zal moeten worden aangevoerd. Dit zand kan mogelijk voor een klein deel afkomstig zijn van onder de -20 m NAP [STRIDE, 1973; EYSINK, 1979; RAKHORST, 1981; CARLSON & GÜNTHER, 1983; SÜNDERMANN & KLOCKER, 1983; TRYGGESTAD e.a. 1983; VAN HAREN, 1990; OTTO e.a. 1990; OOST & DIJKEMA, 1993] en van oudere sedimentaire eenheden vóór de kust [SHA, 1990; SHA & DE BOER, 1991]. Een belangrijk deel zal, naar het zich laat aanzien, echter worden onttrokken uit de kust en vooroever (tot de stormgolfbasisdiepte) van de eilanden.

Op het ogenblik is de afslag aan de Noordzee-zijde van de eilanden grotendeels aan banden gelegd of ongedaan gemaakt [ROELSE, 1988]; dit in overeenstemming met de beleidsnota 'Kustverdediging na 1990, beleidskeuze voor de kustlijn'. In deze nota werd bepaald dat de kustlijn moet worden gehandhaafd op de plaats waar deze in 1990 lag.

Zoals gesteld, trekt de Noordzeekust van de Waddeneilanden zich bij een stijgende zeespiegel (zoals momenteel het geval is) onder natuurlijke condities landwaarts terug (Fig. 1 & 2). Dit gebeurt, omdat sediment wordt onttrokken om daling van de bodem van de Waddenzee, relatief t.o.v. de stijgende zeespiegel, te compenseren. Is dat niet mogelijk, dan zal de kust geleidelijk steiler worden. Het mag worden betwijfeld of suppleties (kunstmatige zandstortingen) op lange termijn (eeuwen) kunnen worden volgehouden, met andere woorden of de kust wel kan worden gehandhaafd op zijn huidige positie. Ook hier is een duidelijke confrontatie op komst in het *spanningsveld* tussen mens en natuur, d.w.z. tussen het statisch vasthouden aan bestaande situaties en de natuurlijke dynamiek van de Waddenzee.

Extra zand nodig om bodemdaling ten gevolge van gaswinning te compenseren zou de zandafvoer van met name de kust en de vooroever verder versnellen. Als alternatief kan echter worden gedacht aan het suppleren van zand in de hoofdgeul of in het zeegat zelf, zodat de kusten van de Waddeneilanden worden ontzien. Een ander alternatief is erkennen dat de Waddenzee een dynamisch gebied is en het geleidelijk aan toestaan van een meer natuurlijk dynamisch gedrag van eilandmigratie, zoals dat in het verleden ook heeft plaatsgevonden.

LITERATUUR

- BEUKEMA, J., 1976. Dierlijk leven in en op de bodem. In: J. ABRAHAMSE, W. JOENJE & N. VAN LEEUWEN-SEELT. Waddenzee. 2e dr: 125-133.
- BIEGEL, E.J., 1991a. De ontwikkeling van de ebgetijde delta en het kombergingsgebied van het Friesche Zeegat in relatie tot de sluiting van de Lauwerszee. GEOPRO, 1991.07.
- , 1991b. Equilibrium relations in the ebb tidal delta, inlet and backbarrier area of the Frisian inlet system, Fac. of Geogr. Sci., Univ. of Utrecht.
- BOS, A. & P.C. VOS, 1992. Paleogeografische reconstructie van het Lauwersmeergebied, concept, RGD-Project 40009, 22 pp.
- CARLSON, H. & H. GÜNTHER, 1983. Shallow water wave prediction model, In: J. SÜNDERMANN & W. LENZ. North Sea Dynamics. Springer, Berlin: 220-232.
- DANKERS, N., K. KOELEMALJ & J. ZEGERS, 1989. De rol van de mossel en de mosselcultuur in het ecosysteem van de Waddenzee. RIN-rapport 89/9, 66 pp.
- DANKERS, N. & K. KOELEMALJ, 1989. Variations in the mussel population of the dutch Wadden Sea in relation to monitoring. Helogolander Meeresunters., 43, 529-535.
- DEAN, R.G., 1988. Sediment interaction at modified coastal inlets: processes and policies. In: D.G. AUBREY & L. WEISHAR. Hydrodynamics and sediment dynamics of tidal inlets. Lect. Notes on Coastal and Estuarine Studies, 29: 412-439.
- DEAN, R.G. & T.L. WALTON, 1975. Sediment transport processes in the vicinity of inlets with special reference to sand trapping. In: L.E. CRONIN. Estuarine Research: Vol. II, Geology and Engineering. Acad. Press, NY: 129-150.
- DIENST GETIJDewateren, 1990. Nota Kustverdediging na 1990.
- DIJKEMA, K.S., 1991. Towards a habitat map of the Netherlands, German and Danish Wadden Sea. Ocean & Shoreline Management, 16: 1-21.
- EDELMAN, T., 1964. De historische veranderingen in de natuurlijke gesteldheid van het Nederlandse wadden-gebied. In: W.F. ANDERSON, J. ABRAHAMSE, J.D. BUWALDA & L.M.J.U. VAN STRAATEN. Het Waddenboek. Thieme, Zutphen: 37-65.
- EISMA, D., 1981. Supply and deposition of suspended matter in the North Sea. In: S.D. NIO, R.T.E. SHÜTTENHELM & T.J.C.E. VAN WEERING. Holocene marine sedimentation in the North Sea basin. Int. Assoc. Sedim. Spec. Publ. 5: 415-428.
- , 1986. Flocculation and de-flocculation of suspended matter in estuaries. Neth. J. Sea Res. 20: 183-199.
- , in voorb. Sedimentation in the Dutch-German Wadden Sea, 22 pp.
- EISMA, D. & J. KALF, 1987. Distribution, organic content and particle size of suspended matter in the North Sea. Neth. J. Sea Res. 21: 256-285.
- EISMA, D., P. BERNARD, G.C. CADÉE, V. ITTEKOT, J. KALF, R. LAANE, J.M. MARTIN, W.G. MOOK, A. VAN PUT & T. SCHUHMA-CHER, 1991. Suspended-matter particle size in some West-European estuaries; Part II A review on floc formation and break-up. Neth. J. Sea Res. 28: 215-220.
- EYSINK, W.D., 1979. Morfologie van de Waddenzee, gevolgen van zand- en schelpenwinning. verslag literatuur-onderzoek. Waterl. Lab., R 1336, 92 pp.
- , 1987. Gaswinning op Ameland-oost, effecten van de bodemdaling, Waterl. Lab. in samenwerking met Rijks-instituut voor Natuurbeheer, verslag onderzoek, H114, 53 pp.
- , 1991. Impact of sea level rise on the morphology of the Wadden Sea in the scope of its ecological function. Inventory of available data and literature and recommendations on aspects to be studied. Rijkswaterstaat Dienst Getijdewateren, ISOS*2 Project, Phase 1.
- , 1992. Impact of sea level rise on the morphology of the Wadden Sea in the scope of its ecological function. Proposed set-up of a dynamic morphological model for Wadden Sea basins and estuaries based on empirical relations. Vol. 1. Rijkswaterstaat Dienst Getijdewateren, ISOS*2 Project, Phase 3, 38 pp.
- , 1993a. Impact of sea level rise on the morphology of the Wadden Sea in the scope of its ecological function. General considerations on hydraulic conditions, sediment transports, sand balance, bed composition and impact of sea-level rise on tidal flats. ISOS*2 Project, Phase 4.
- , 1993b. Bodemdaling door gaswinning in de Waddenzee, effecten op zandhonger en platen volgens berekeningen met het Morfologisch Responsie-Model MORRES, Waterloopkundig Laboratorium, H 1948, 5 pp. In: Oost, A.P. & Dijkema, K.S., 1993 Effecten van bodemdaling door gaswinning in de Waddenzee, IBN-rapport 025, 133 pp.
- EYSINK, W.D. & E.J. BIEGEL, 1992. Impact of sea level rise on the morphology of the Wadden Sea in the scope of its ecological function. Investigations on empirical morphological relations, Rijkswaterstaat Dienst Getijdewateren, ISOS*2 Project, Phase 2, 73 pp.
- FITZGERALD, D.M., 1988. Shoreline erosional-depositional processes associated with tidal inlets. In: D.G. AUBREY & L. WEISHAR. Hydrodynamics and sediment dynamics of tidal inlet. Springer-Verlag New York, Inc.: 186-225.
- FLEMMING, B.W., M.T. DELAFONTAINE & A. BARTHOLOMÄ, 1993. Morphodynamics and mass balance of biodeposition in a backbarrier mussel bank (Spiekeroog, Southern North Sea). M.R.W. AMLER & K.W. TITZE. Geologica et Palaeontologica, Sediment 93, Marburg, Kurzfassungen: 30-31.
- FORMSMA, W.J., 1954. Een reis naar Schiermonnikoog in 1556. Groningse Volksalmanak 1954: 65-71.
- , 1958. De grens tussen de provincies Groningen en Friesland in de Wadden. Groningse Volksalmanak 1958: 27-42.
- GERRITSEN, F., 1990. Morphological stability of inlets and channels of the western Wadden Sea, Rijkswaterstaat Dienst Getijdewateren Nota GWA0-90.019, 86 pp.
- GERRITSEN, F. & H. DE JONG, 1985. Stabiliteit van doorstroomprofielen in het Waddengebied, Rijkswaterstaat Adviesdienst Vlissingen, Nota WWKZ-84.V016.
- HAYES, M.O., 1975. Morfology of sand accumulations in estuaries. In: L.E. CRONIN. Estuarine Research vol. 2 Geology and Engineering. N.Y. Acad. Press: 3-22.
- HOFFMAN, J.S., J.B. WELLS & J.G. TITUS, 1986. Future global warming and sea level rise. In: G. SIGBJARNASON. Iceland coastal and river Symposium. National Energy Authority, Reykjavik, 245-266.
- HOFSTEDE, J., 1989. Parameter zur Beschreibuyng der Morphodynamik eines Wattgebietes. Die Küste 50: 197-212.
- HUIJS, S.W.E., 1993. Geulmigratie op de buitendelta, Het Friesche Zeegat en het Ameland Gat, met bijdragen van

- J.J.P. Lambeek, Inst. voor Marien en Atmosferisch onderzoek Utrecht, 58 pp.
- HUME, T.M. & C.E. HERDENDORF, 1990. Morphologic and hydraulic characteristics of tidal inlets on a headland dominated low littoral drift coast, Northeastern New Zealand. J. Coast. Research (spec. issue), Proc. Skagen Symp.: 527-563.
- JARRETT, J.T., 1976. Tidal prism-inlet area relationships. GITI, Rep. 3, US Army Eng. Waterways Exp. Stat. Vicksburg.
- KAMPS, L.F., 1956. Slibhuishouding en landaanwinning in het oostelijk Waddengebied, Rijkswaterstaat, Dir. Landaanwinning, 93 pp.
- KOLK, B. & K.M. SCHALKERS, 1980. De veranderingen in de Waddenzee ten gevolge van de afsluiting van de Zuiderzee, Rijkswaterstaat, Directie waterhuishouding en waterbeweging, Notitie 78.H238, 13 pp.
- NIEMEYER, H.D., 1990. CM5 Morphodynamics of tidal inlets. In: Coastal Morphology Stichting Postacad. Ond. Civ. Techn. en Bouwtechn., Delft.
- O'BRIEN, M.P., 1969. Equilibrium flow areas of inlets on sandy coasts. J. Waterways and Harbors Div., ASCE, WWI, 43-52.
- OOST, A.P., (in voorb. a). Morphodynamic behaviour of islands and inlets: development of the Frisian Inlet in historical times.
- , (in voorb. b). The influence of *Mytilus edulis* on fine grained sedimentation, some experiments.
- OOST, A.P., H. DE HAAS, F. IJNSSEN, J.M. VAN DEN BOOGERT & P.L. DE BOER, 1993. The 18.6 year nodal cycle and its impact on tidal sedimentation. Sedimentary Geology 87: 1-11.
- OOST, A.P. & H. DE HAAS, 1992. Het Friesche Zeegat. Morfologisch-Sedimentologische veranderingen in de periode 1970-1987; een getijde inlet systeem uit evenwicht. Rapport in het kader van Kustgenese, Werkgroep 1 voor Rijkswaterstaat, Deel 1 (68 pp.) & 2 (Fig.).
- , 1993. Het Friesche Zeegat. Morfologisch-Sedimentologische veranderingen in de periode 1927-1970. Rapport in het kader van Kustgenese, Werkgroep 1 voor Rijkswaterstaat, Deel 1 (83 pp.) & 2 (Fig.).
- OOST, A.P. & K.S. DIJKEMA, 1993. Effecten van bodemdaling door gaswinning in de Waddenzee. IBN-rapport 025, 133 pp.
- OTTO, L., J.T.F. ZIMMERMAN, G. K. FURNES, M. MORK, R. SAETRE & G. BECKER, 1990. Review of the physical oceanography of the North Sea. Neth. J. Sea Res. 26: 161-238.
- POSTMA, H., 1961. Transport and accumulation of suspended matter in the Dutch Wadden Sea. Neth. J. Sea Res. 1: 148-190.
- RAKHORST, H.D. & E.R.F. VAN DER GOES, 1978. Invloed zandwinning Kikkertgat op bodemligging aangrenzende platen. Rijkswaterstaat, Dir. Waterhuishouding en waterbeweging, Nota 78H246, 8 pp.
- RAKHORST, H.D., 1981. Stroming veroorzaakt door wind, Deel 2, natuurmetingen, 22 pp. Rijkswaterstaat, Dir. Waterhuishouding en waterbeweging, Nota WWKZ-81.H028, 22 pp.
- RIJKSWATERSTAAT, 1978. Onderzoek zandwinning Waddenzee, Werkgroep I, Interimrapport aangaande hydrografisch-sedimentologisch onderzoek met betrekking tot de winning van zand in de Waddenzee c.a.
- , 1993. Invloed van gaswinning op de Waddenzee, 3. pp.
- ROELSE, P., 1988. Zandsuppleties in Nederland. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 310 pp.
- SHA, L.P., 1990. Sedimentological studies of the ebb-tidal deltas along the West Frisian Islands, the Netherlands. Geologica Utraiectina, Mededelingen van de Faculteit Aardwetenschappen der Rijksuniversiteit te Utrecht, 64, Thesis, 160 pp.
- , 1992. Geological Research in the Ebb-Tidal Delta of 'Het Friesche Zeegat', Wadden Sea, The Netherlands. Rapport R.G.D.-Project 40010, 20 pp.
- SHA, L.P. & P.L. DE BOER, 1991. Ebb-tidal delta deposits along the West Frisian Islands (The Netherlands): processes, facies architecture and preservation. In: D.G. SMITH, G.E. REINSON, B.A. ZAITLIN & R.A. RAHMANI. Canadian Soc. Petrol. Geol. Mem. 16: 199-218.
- SIEFERT, W., 1987. Umsatz- und Bilanzanalysen für das Küstenforveld der Deutschen Bucht; Grundlagen und erste Auswertungen. Die Küste: 45.
- STIVE, M.J.F. & W.D. EYSINK, 1989. Voorspelling ontwikkeling kustlijn 1990-2020, fase 3. Deelrapport 3.1: dynamisch model van het Nederlandse kuststelsel, Waterl. Lab., rapport H825, 66 pp.
- STRIDE, A.H., 1973. Sediment transport by the North Sea. In: E.D. GOLDBERG. North Sea Science, MIT Press, Cambridge: 101-130.
- SÜNDERMANN, J. & R. KLÖCKER, 1983. Sediment transport modelling with applications in a North Sea tidal inlet. In: J. SÜNDERMANN & W. LENZ. North Sea Dynamics. Springer, Berlin: 453-471.
- TRYGGESTAD, S., S.E. SELANGER, J.P. MATHISEN & O. JOHANSEN, 1983. Extreme bottom currents in the North Sea. In: J. SÜNDERMANN & W. LENZ. North Sea Dynamics, Springer, Berlin: 148-158.
- VAN DE KREEKE, J., 1990. Can multiple tidal inlets be stable? Estuar. Coast. Shelf Sci. 30: 261-273.
- VAN HAREN, J.J.M., 1990. Observations on the structure of currents at tidal and sub-tidal frequencies in the Central North Sea. Ph.d-thesis, R.U. Utrecht: 102 pp.
- VAN STRAATEN, L.M.J.U., 1964. De Bodem der Waddenzee. In: Het Waddenboek. Nederl. Geol. Ver., 75-151.
- , De sedimenthuishouding in de Waddenzee, Symp. Waddenonderzoek, mededeling nr. 1, Werkgroep Waddengebied, 5-20.
- VAN STRAATEN, L.M.J.U. & PH.H. KUENEN, 1958. Tidal action as cause of clay accumulation. J. Sedim. Petrol. 28: 406-413.
- VAN DE PLASSCHE, O., 1982. Sea-level change and water-level movements in the Netherlands during the Holocene, Ph.d-thesis, V.U. Amsterdam, 138 pp.
- VERHAGEN, J.H.G., 1982. A distribution and population model of the mussel *Mytilus edulis* in Lake Grevelingen. Waterloopkundig laboratorium delft hydraulics laboratory. Publication no.279, 1-11.
- VERWEY, J., 1952. On the ecology of distribution of cockle and mussel in the Dutch Waddensea, their role in sedimentation and the source of their food supply. With a short review of the feeding behaviour of bivalve molluscs. Ach. néerl. Zool. 10: 171-239.
- Vroom, M.G., F.H.I.M. Steyaert, R. Misdorp, H. Venema, J.H.B.W. Elgershuizen, H.D. Rakhorst & M.A. Damoiseaux, 1989. Wadatlas. Min. Verkeer & Waterstaat, 95 pp.
- WALTON, T.L.JR. & W.D. ADAMS, 1976. Capacity of inlet outer bars to store sand. Proc. 15th. Int. Coastal Eng. Conf., Honolulu, 1919-1938.
- WARRICK, R. & J. OERLEMANS, 1990. Sea level rise. In: J.T. HOUGHTON, G.J. JENKINS & J.J. EPHRAUMS. Climate

Change. The IPCC scientific assessment. Camb. Univ. Press, 259-261.

WOLFF, W.J., 1986. De Waddenzee: eigenschappen van een dynamisch kustgebied. Flevovericht 252, RIJP, 11-22.

VRAGEN TIJDENS DE FORUM-DISCUSSIE

Vraag: Wat wordt bedoeld met het overschrijden van kritische drempels?

Antwoord: Een kritische drempel wordt overschreden als de zandhonger van een vloedkom in de Waddenzee t.o.v. de zand-influx (= bovengrens maximaal mogelijke sedimentatie van zand) dermate groot wordt dat herstel van de bodemdaling niet of slechts zéér langzaam (hoofdzakelijk slibsedimentatie) verloopt. Zo'n situatie zou theoretisch kunnen worden bereikt door de zandhonger van een vloedkom sterk te vergroten, bijvoorbeeld door elk jaar een hoeveelheid zand vergelijkbaar met de zand-influx (meerdere miljoenen m³ [zie OOST & DIJKEMA, 1993]) uit één vloedkom te baggeren, of door de zand-influx sterk te verminderen, hetgeen misschien zou kunnen worden bereikt door de sedimentstroom langs de eilandkusten sterk te beperken door het aanleggen van grote hoeveelheden strekdammen.

Vraag: Wat is de invloed van mosselen op de sedimentatie? Wat zal de reactie van de vissers zijn op een beperking van de vangstmogelijkheden?

Antwoord: Mosselen, die een stabiele, natuurlijke populatie kunnen opbouwen beïnvloeden de sedimentatie op de volgende manieren:

- Schelpdieren en het onderliggende slib vormen decimeters hoge mosselbanken, die normaliter zo'n 3-4% van het waddenoppervlak bedekken; deze banken zijn vrij stabiel [VERWEY, 1952; VAN STRAATEN, 1964; VERHAGEN, 1982; DANKERS & KOELEMAIJ, 1990; FLEMMING e.a., 1993; OOST, in voorb. b],

- De mosselen produceren uitwerpselen (faeces en pseudo-faeces), die over enige afstand kunnen worden vervoerd. De uitwerpselen zijn grover dan het slib en komen daardoor gemakkelijker tot bezinking. Zo worden rond de mosselbanken slib-velden gevormd (ook van belang als habitat voor diverse bodemdieren). Een deel van de uitwerpselen kan meer permanent tot afzetting komen in diepere geulen, als deel van sedimentaire structuren op platen (ribbels, pieren) en op de kwelders [DANKERS e.a., 1989; DANKERS & KOELEMAIJ, 1990; DIJKEMA, 1991; OOST, in voorb. b].

- Een belangrijk deel van de uitwerpselen zal weer uit elkaar vallen en weer als slib in het zeewater gaan zweven. De effectieve korrelgrootte van dit slib kan groter zijn dan de aparte slibdeeltjes, doordat deze zijn 'samengeklonterd' tijdens de periode waarin ze deel uitmaken van de uitwerpselen. Hierdoor kan dit materiaal gemakkelijker tot bezinking komen [vgl. EISMA, 1986; EISMA e.a., 1991]

De vissers hebben al op vrijwillige basis afgesproken niet op de platen tussen de laag- en hoog-waterlijn te vissen, tenzij dit voor de bedrijfsvoering noodzakelijk is. Misschien kan aan de vissers compensatie geboden worden met kweekpercelen in de westelijke Waddenzee onder de laagwaterlijn of in Zeeland (de nieuwe platen in de Noordzee voor de Oosterschelde?), zodat de wadden-platen niet langer behoeven te worden bevist. In alle gevallen is dit een beslissing, die ligt bij de politiek.

Vraag: Wat zal het effect van de bodemdaling zijn als de zeespiegelstijgingssnelheid groter wordt?

Antwoord: Onder condities van alleen een grotere zeespiegelstijgingssnelheid [HOFFMAN e.a., 1986; WAR-RICK & OERLEMANS, 1990] zal zich een nieuw dynamisch evenwicht instellen, waarbij iets minder plaatareaal aanwezig zal zijn in de Waddenzee (in ca. een eeuw) [EYSINK, 1993a]. Bodemdaling door gasonttrekking zou in zo'n situatie leiden tot een iets sneller bereiken van dit nieuwe evenwicht [EYSINK, 1993b]. De twee effecten werken a.h.w. naar elkaar toe.

Vraag: U stelt dat de platen sneller herstellen dan de geulen van de bodemdaling. Worden de geulen door de bodemdaling niet gefixeerd?

Antwoord: Bodemdaling versterkt de huidige ontwikkelingsstrend van zeespiegelstijging, waardoor lokaal de natuurlijke dynamiek van het systeem kan versnellen of vertragen. Fixatie van de geulen en daarmee een onderbreking van de natuurlijke dynamiek is onwaarschijnlijk. De zijwaartse verplaatsing van de actief bewegende grotere geulen is momenteel in de orde van grootte van tientallen tot honderden meters per jaar en wordt vooral veroorzaakt door uitbochtting door het in- en uit-stromende water. Bij een paar procent afname van stroomsnelheid, ten gevolge van de toename van het stroomvoerende oppervlak van de geulen, zal de laterale migratie-snelheid nog steeds in dezelfde orde van grootte liggen en niet leiden tot fixatie.

BODEMDALING IN DE WADDENZEE DOOR GASWINNING

H.J. GUSSINKLO

Nederlandse Aardolie Maatschappij (NAM) (Elf Petroland), Postbus 28000, 9400 HH Assen

1. INLEIDING

Bodemdaling in Nederland treedt al gedurende lange tijd op. Te denken valt hierbij aan natuurlijke inklinking en de isostatische bewegingen waarbij Nederland als geheel daalt en Scandinavië stijgt. De daling waar het hierom gaat bedraagt enkele millimeters per jaar voor Nederland algemeen tot pls. 20 mm/jaar in de IJsselmeerpolders.

Door menselijke activiteiten als ontwatering, winning van grondwater, ontginning van vaste delfstoffen (kolen, zout en zand) en gaswinning treedt ook bodemdaling op.

Bij de winning van de vaste delfstoffen (zout en kolen) wordt materiaal uit de ondergrond gehaald waardoor in de betreffende lagen grote ruimten ontstaan. Wanneer deze ruimten instorten kan het aardoppervlak ter plaatse aanzienlijk dalen. Men krijgt dan te maken met een grote daling in een naar verhouding klein gebied. In een bebouwd gebied kan dat leiden tot beschadiging van gebouwen (scheuren in muren).

Bij de winning van gas ligt dat duidelijk anders. Er wordt geen gesteentemateriaal weggehaald, de lagen waarin gas voorkomt blijven intact, ze worden slechts door de druk van de bovenliggende lagen enigszins in elkaar gedrukt.

Als er al bodemdaling optreedt dan is deze gering, maar deze strekt zich doorgaans wel uit over een groter gebied (Bijl. 1).

Door het zeer geleidelijke verloop van de bodemdaling door gaswinning aan de oppervlakte zal hier geen schade worden toegebracht aan eventuele bebouwing. Bovendien ontstaat deze bodemdaling over een lange periode van 25-30 jaar of zelfs langer.

Op het land kan het noodzakelijk zijn om maatregelen te treffen op waterhuishoudkundig gebied.

Voor de Waddenzee zal onderzocht dienen te worden in hoeverre de bodemdaling en met name de snelheid van het optreden daarvan door het ecologisch systeem kan worden opgevangen. Studies daartoe zijn o.m. uitgevoerd door het Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek, de Rijksuniversiteit Utrecht en het Waterloopkundig laboratorium. (ref 1, 2).

2. GESTEENTE COMPACTIE IN DE DIEPE ONDERGROND

Het aardgas wordt in Noord-Nederland hoofdzakelijk aangetroffen in zandsteenlagen van het Rotliegend op zo'n 3000 m diepte of van het Onderkrijt (Vlieland formatie) op zo'n kleine 2000 m diepte.

Deze gesteenten bestaan uit aan elkaar gekitte zandkorrels met plaatselijk klei waartussen zich kleine ruimtes, de poriën, bevinden.

In deze poriën bevindt zich het gas (en water) onder hoge druk.

Als de poriën met elkaar in verbinding staan, de gesteentelaag dus doorlatend is, dan kan het gas naar de boorputten stromen.

Dit doorlatende gesteente, het reservoir, wordt afgedekt door niet doorlatende lagen als zout en kleisteen die ervoor zorgen dat het gas niet naar boven kan ontsnappen.

Op de korrelstructuur van het reservoirgesteente wordt een enorme druk uitgeoefend door de bovenliggende gesteente lagen.

Deze druk bedraagt op 3000 m ca. 670 bar en op 1800 m ca 450 bar afhankelijk van de samenstelling van de gesteente pakketten.

De druk op de korrelstructuur wordt gedeeltelijk gecompenseerd door de druk van het gas in de poriën (Bijl. 2).

Door de gasproductie neemt de druk in de poriën af en zal de druk op de korrelstructuur toenemen. Hierdoor wordt het reservoirgesteente enigszins samengedrukt en treedt dus compactie op.

De mate van compactie hangt af van een serie factoren (Bijl. 3):

-de structuur en de hardheid van het reservoirgesteente die gerelateerd zijn aan de manier waarop de zandkorrels aan elkaar gecementeerd zijn. De compactie van losse zanden zal in het algemeen groter zijn dan die van (hard) zandsteen, zoals die wordt aangetroffen in de diepe ondergrond van de Waddenzee. De uniaxiale compressibiliteit van een gesteente, aangeduid als C_m , is gedefinieerd als de relatieve lengte vermindering per toegepaste druk eenheid.

-de totale druk daling (DP) in het reservoir van het gasvoerend deel alsmede in de meeste gevallen van het watervoerend deel. Hoe geringer de drukdaling, hoe minder compactie.

-de dikte van de gasvoerende en de eventueel daaronder gelegen watervoerende laag (h). Een dikke zandsteenlaag zal bij verder identieke eigenschappen meer compactie vertonen dan een dunne.

De totale reservoirgesteente compactie op een bepaalde tijd en plaats kan berekend worden met de formule:

$$\Delta h = C_m \cdot \Delta P \cdot h$$

3. BODEMDALING AAN DE OPPERVLAKTE

Gesteente compactie is een proces dat zich afspeelt in de diepte in het reservoirgesteente. In welke mate dit als bodemdaling bovengronds te merken is wordt bepaald door de volgende factoren: (bijl. 3)

- de mate van reservoirgesteente compactie.
Hoe meer compactie, hoe groter de bodemdaling voor een bepaald reservoir.
- de diepte en omvang van het reservoir.
Bij een groot gasveld zal de bodemdaling bij benadering gelijk zijn aan de reservoirgesteente compactie. Bij een klein gasveld op grote diepte zal slechts een deel van de reservoir compactie als bodemdaling aan de bovengrond zichtbaar worden.
- de eigenschappen van de onder en boven het reservoir liggende gesteenten.
Deze factor beïnvloedt hoofdzakelijk de vorm van de bodemdalingsschotel en niet of nauwelijks de mate van bodemdaling.

De bodemdaling als gevolg van gaswinning verloopt op het maaiveld niveau zeer geleidelijk in de vorm van een platte schotel waarbij in de richting van de randen van de schotel de daling allengs afneemt.

Doordat de gasvelden over een periode van 20 tot 30 jaar (of langer) leeggeproduceerd worden zal de dalingssnelheid die optreedt op het diepste punt meestal niet meer bedragen dan een 0.5 tot 1 cm per jaar gedurende de eerste 10 tot 15 jaar. Daarna neemt de dalingssnelheid verder af gedurende de eindfase van de produktie.

Door het uiterst geleidelijke en gelijkmatige verloop van de bodemdaling zal schade aan bebouwing e.d. niet optreden. Dit wordt bevestigd door studies die hiernaar zijn verricht in de provincies Groningen en Friesland (ref. 3, 4).

4. BODEMDALINGSPROGNOSSES

Voordat een gasveld in produktie komt kan een prognose van de te verwachten bodemdaling worden gemaakt.

Hieraan ligt een reservoir model ten grondslag dat gebaseerd is op de meest recente geologische, seismische, petrofysische en reservoir engineering inzichten.

Gegevens uit geboorde putten alsmede metingen aan kernen zijn hierbij zeer belangrijk. Indien niet beschikbaar dan worden op grond van de seismische gegevens en informatie uit putten in naburige velden regionale trends bepaald.

De belangrijkste geologische invoergegevens zijn hierbij de reservoirdiepte en dikte alsmede gesteentetype en eventueel de laterale variatie daarvan. Voor petrofysica zijn dit (mogelijke) gaswater contacten en porositeit / (permeabiliteit).

Voor reservoir engineering zijn dit begin- en einddrukverdeling in het reservoir, verwacht gedrag van het watervoerend deel van het reservoir en het produktie scenario.

Een invoergegeven dat veel invloed heeft op de uiteindelijke prognose resultaten is de uniaxiale compressibiliteit (C_m) van het reservoirgesteente. Er zijn in principe drie manieren om deze C_m te bepalen.

Ten eerste kan de compressibiliteit worden afgeleid uit compactiemetingen in het reservoir zoals gedaan wordt in het Groningen veld. Het nadeel is dat men eerst bij gevorderde produktie betrouwbare data kan verkrijgen.

Ten tweede kan men onder bepaalde voorwaarden bij gevorderde produktie de voorspelde bodemdaling verifiëren d.m.v. waterpassingen. Zonodig kan de prognose bijgesteld worden. Daar echter veel invoergegevens gebruikt worden bij het opzetten van een prognose kan deze methode meestal slechts in kwalitatieve zin gebruikt worden om de waarde van C_m te bepalen.

Ten derde kunnen in het laboratorium metingen worden verricht op gesteentemonsters van kernen. Deze methode geeft in een vroeg stadium van gasveld produktie een waarde voor C_m en is snel en relatief goedkoop. Bij het bepalen van de C_m in het laboratorium moet echter evenwel met een aantal nadelen rekening gehouden worden.

De te testen monsters dienen representatief te zijn voor de formatie als geheel. De compressibiliteit van het gesteente kan sterk variëren als functie van de lithologie. Aan de selectie van de monsters dient veel aandacht te worden besteed. De gevolgde experimentele methode heeft invloed op de waarde van de compressibiliteit zoals die wordt bepaald in het laboratorium. Daarnaast is het veelal niet zeker dat de laboratorium omstandigheden representatief zijn voor de in-situ condities. (ref.5, 6).

Onder laboratorium omstandigheden kan een hogere C_m gemeten worden dan in het veld door o.m. verstoring van het kern materiaal hetgeen kan leiden tot te 'pessimistische' prognoses.

De berekende reservoir compactie dient 'vertaald' te worden naar bodemdaling aan de bovengrond. Hier-

voor wordt het analytische Geertsma & van Opstal Rigid Basement model gebruikt zoals ontwikkeld in het Kon./Shell Exploratie en Produktie Laboratorium (ref. 7, 8).

Dit model wordt o.m. toegepast voor het berekenen van bodemdaling boven het Groningen gasveld (ref. 9).

Om de theoretische analyses te toetsen is ook gebruik gemaakt van eindige elementen modellering. Hierbij wordt het (elastische) deformatiegedrag van de boven het reservoir gelegen gesteente lagen (overburden) beschreven. Dit levert inzicht op in de vertaling van compactie van het reservoirgesteente naar bodemdaling als waargenomen aan het oppervlak (bijl. 4).

Op de bodemdalingsprognose Groningen van 1990 is door het Massachusetts Institute of Technology (MIT) een 'second opinion' uitgevoerd om het gebruikte geologisch model en de toegepaste theorieën te toetsen (ref. 10).

De theoretische analyses en de eindige elementen modellen voor het analyseren van de bodemdaling die zal optreden zijn door het MIT volledig ondersteund.

5. BODEMDALING IN DE WADDENZEE

5.1. GASWINNING UIT BESTAANDE VELDEN

Gaswinning uit velden zowel onder het land als onder de Waddenzee veroorzaken bodemdaling in de Waddenzee.

Het Groningen gasveld is sinds 1963 in produktie. Daar het veld vanaf de zuidkant in produktie is gebracht bereikte de bodemdaling pas na 10-12 jaar de Waddenzee.

Ameland, Blija-Ferwerderadeel en Zuidwal (Elf Petroland) zijn in het midden van de tachtiger jaren in produktie gekomen. Prognoses zijn gemaakt voor deze velden voor het jaar 2000 om de (theoretische) bodemdaling in kaart te brengen (bijl. 5).

De prognoses in de Waddenzee geven een theoretische daling op een bepaald moment in tijd. Door het dynamisch karakter in de Waddenzee zal er sedimentatie optreden in de zogenaamde kombergingsgebieden en uit de hoogte ligging van de zeebodem op een bepaald moment kan de bodemdaling als gevolg van gaswinning dan ook niet zondermeer worden afgeleid.

5.2. TOEKOMSTIGE GASWINNING

Op grond van interpretatie van seismiek zijn er onder de Waddenzee structuren geïdentificeerd waarin mogelijk gas kan worden gevonden de z.g. prospects.

Op basis van de seismiek, informatie uit bestaande velden en extrapolatie van regionale data zijn voor de

prospects die gepland zijn om tussen het jaar 1995 en 2000 aan te boren, studies uitgevoerd naar de te verwachten bodemdaling, waarbij geen rekening is gehouden met compensatie van deze daling als gevolg van sedimentatie.

Om zekerheid te verkrijgen over de aanwezigheid van gas in een prospect zijn (exploratieve) boringen nodig.

Hierdoor kan ook een nadere precisering plaatsvinden van de invoergegevens voor de bodemdalingsstudies.

In de studies is ervan uitgegaan dat alle tot het jaar 2000 in de Waddenzee aan te boren prospects gasvoerende zullen zijn en vervolgens geproduceerd zullen worden.

Dit scenario houdt daarom tot op zekere hoogte een overschatting van de te verwachten bodemdaling in.

5.3. GEVOELIGHEIDSANALYSE

De nauwkeurigheid waarmee voorspellingen van bodemdaling door gaswinning kunnen worden gemaakt, is afhankelijk van de onzekerheid in de invoergegevens. Aan de geologische en petrofysische gegevens is een bepaalde statistische onzekerheid verbonden.

Het bodemdalingsmodel is het meest gevoelig voor onzekerheden in de invoer gegevens - Compactie coëfficiënt (C_m), reservoir dikte en reservoir druk. Net als voor de Groningen bodemdalingsprognose is ook voor de Waddenzee prospects een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd op de prognoses. In de analyse werd de C_m gevarieerd met ca. 15% rond de verwachte waarde en de netto reservoir dikte en de verwachte initiële druk met ca. 10%.

5.4. RESULTATEN BODEMDALING T.G.V. TOEKOMSTIGE GASWINNING

Voor de prospects die mogelijk tot het jaar 2000 aangeboord worden zijn bodemdalingsprognoses gemaakt. De contouren van de theoretische bodemdaling zijn weergegeven in bijl. 6.

Hierbij zijn tevens meegenomen de onder het land liggende velden Anjum en Munnekezijl die recentelijk zijn aangeboord en die na het jaar 2000 enige bodemdaling kunnen veroorzaken in de Waddenzee.

Voor de prospects onder de Waddenzee zal naar verwachting op het diepste punt een bodemdaling optreden die varieert tussen de 2 en 10 cm met een maximale onzekerheid van 5 cm.

De contouren in bijl. 7 geven het gecombineerde effect van de (theoretische) daling door bovengenoemde prospects en de daling uit de bewezen velden.

De situatie 2050 is gekozen omdat voor het Groningen veld dan ook de eindsituatie bereikt zal zijn.

Voor zover het de NAM- en NAM/Mobil velden

betreft zijn analytische berekeningen uitgevoerd gebaseerd op het Geertsma en Van Opstal Rigid Basement Model. De velden in de Elf/Petroland concessies zijn geëvalueerd met behulp van een eindig elementen model.

5.5. BERGINGSVOLUME TOENAME IN DE WADDENZEE

Door de bodemdaling zal het bergingsvolume in de Waddenzee toenemen. Dit zal zeer geleidelijk gebeuren over een periode van 25 tot 30 jaar, gelijk aan de tijd waarin gas geproduceerd wordt.

Op grond van de uitgevoerde bodemdalingsberekeningen zal in het jaar 2050 voor kombergingsgebieden 1 t/m 9 de toename in bergingsvolume ca. $55.4 \times 10^6 \text{ m}^3$ bedragen. Door de bestaande produktie uit de velden Groningen, Ameland, Blija en Zuidwal wordt in de genoemde kombergingsgebieden hiervan ca. $20 \times 10^6 \text{ m}^3$ veroorzaakt.

De toename in bergingsvolume door produktie van de prospects en nog in produktie te brengen land velden bedraagt tussen 2000 en 2050 dus ca. $35 \times 10^6 \text{ m}^3$ (100% scenario).

Kombergingsgebied 10 (Eems Dollard) is buiten beschouwing gelaten daar de toename in bergingsvolume hier vrijwel geheel veroorzaakt wordt door de bodemdaling t.g.v. produktie uit het Groningen veld.

Voor het Nederlandse deel wordt tot 2050 hier een bergingsvolume toename verwacht van ca. $23 \times 10^6 \text{ m}^3$, incl. $0.6 \times 10^6 \text{ m}^3$ voor prospects.

De toename in bergingsvolume (100% scenario) voor kombergingsgebieden 1 t/m 9 is weergegeven in bijl. 8.

Hierop (excl. Zuidwal/Leeuwarden Concessie) is een onzekerheidsanalyse uitgevoerd op de verwachte bergingstoename t.g.v. de produktie van de prospects tussen het jaar 2000 en 2050.

De resultaten kunnen als volgt worden samengevat voor het 100% succes scenario:

verwachte waarde	$35 \times 10^6 \text{ m}^3$
maximum waarde	$45 \times 10^6 \text{ m}^3$
minimum waarde	$21 \times 10^6 \text{ m}^3$

6. MONITORING VAN BODEMDALING IN DE WADDENZEE

6.1. BESTAANDE MONITORINGSPROGRAMMA'S

Ameland-Oost

Voor de gaswinning op Ameland-Oost is met de betrokken partijen een omvattend monitoringsprogramma afgesproken (bijl. 9). Een onderdeel daarvan zijn de volgende hoogtemetingen:

Over het oostelijk gedeelte van Ameland wordt sinds het begin van de gasproduktie in 1986 jaarlijks een nauwkeurigheidswaterpassing uitgevoerd over een netwerk van punten dat het hele oostelijk deel

van het eiland bedekt onder gebruikmaking van peilmerken van de Meetkundige Dienst van Rijkswaterstaat. Hiermee kan de opgetreden bodemdaling binnen een nauwkeurigheid van 1 cm worden bepaald. De jongste meting van 1993 wees uit dat er een gelijkmatig verlopende dalingsschotel is gevormd met een daling van 10 cm in het diepste punt.

De bodemdaling in de Waddenzee wordt gemeten door middel van hydrostatische waterpassingen tussen het eiland en enkele goed gefundeerde punten in het wad. Deze metingen, uitgevoerd met een speciaal daarvoor toegerust meetschip van Rijkswaterstaat, hebben dezelfde nauwkeurigheid van beter dan 1 cm. Sinds het begin van de gasproduktie zijn in samenwerking tussen NAM en Rijkswaterstaat in de Waddenzee twee metingen verricht, een in 1987 en een in 1992.

Over de kwelders van Oostelijk Ameland werden in 1988 en 1993 vlaktewaterpassingen uitgevoerd die een gedetailleerd beeld geven van hoogteveranderingen in dit gevoelige gebied. In tegenstelling tot de eerder genoemde metingen worden hierbij ook effecten van sedimentatie en erosie meegenomen.

GPS-satellietplaatsbepaling werd in 1993 ingezet om de NAP-hoogte van de twee produktieplatforms aan de Noordzeekant te bepalen. Toekomstige herhalingsmetingen met een interval van enkele jaren zullen ook voor dit zeegebied een beeld geven van de opgetreden bodemdaling. Voor het platform Ameland-Westgat zal na de uitwerking van de gegevens van 1993 reeds een vergelijking kunnen worden gemaakt met een eerdere hydrostatische meting uit 1987.

Groningen

NAM's jaarlijkse 'Kleine Waterpassing' en de 6-jaarlijkse 'Grote Waterpassing', eveneens uitgevoerd volgens de richtlijnen van Rijkswaterstaat voor 2e-orde nauwkeurigheidswaterpassing, geven een gedetailleerd beeld van de bodemdaling op het vaste land tot aan de Waddenzeekust.

Ook hier ligt de nauwkeurigheid van punthoogten binnen 1 cm. In vergelijking met Ameland is de vasteland bodem in het algemeen instabieler en inhomogener, waardoor het dalingsgedrag van de meetpunten ook in versterkte mate wordt beïnvloed door natuurlijke dalingsverschijnselen.

Over het gedeelte van de dalingsschotel die zich over de Waddenzee en de Eems uitstrekt werden, net als in Ameland, in samenwerking met Rijkswaterstaat hydrostatische metingen over een aantal goed gefundeerde punten in het wad uitgevoerd. De laatste van deze metingen dateert van 1993. De resultaten zullen begin 1994 beschikbaar komen.

6.2. MOGELIJKHEDEN VOOR MONITORING VAN TOEKOMSTIGE GASWINNING

Waddengebied

De daling als rechtstreeks gevolg van gaswinning zal

kunnen worden vastgesteld aan de hand van metingen op de bestaande peilmerken van Rijkswaterstaat eventueel aangevuld met een aantal additionele peilmerken om tot een goed beeld van de dalingsschotels te komen. Voor deze metingen zal in de toekomst vermoedelijk het gebruik van het GPS satellietplaatsbepalingssysteem de meest economische aanpak zijn. Volgens recente testen mag worden verwacht dat ook met deze methode meetresultaten binnen de nauwkeurigheidsmarge van 1 cm zijn te realiseren. Met de resultaten van deze metingen zullen de dalingsvoorspellingen worden getoetst.

Naast de vaststelling van de daling door gaswinning zal men zich ook een beeld zullen willen vormen over de werkelijke hoogteveranderingen van de wadbodem, waarbij invloeden van sedimentatie en erosie een belangrijke rol spelen. De 5-jaarlijkse lodingen van Rijkswaterstaat zijn hiervoor de meest aangewezen bron van informatie. Tussentijdse monitoring van de hoogte van de zandplaten zou kunnen geschieden d.m.v. optische waterpassing van enkele profielen tussen bovengenoemde peilmerken. Mogelijk zouden dergelijke metingen ook kunnen worden uitgevoerd met (kinematische) GPS.

Verschuivingen van het geulenpatroon zouden bij voorkeur met behulp van satellietopnamen (Landsat, SPOT, ERS) kunnen worden gedetekteerd. Nauwkeurigheden van enkele tientallen meters over grote gebieden, ook buiten de eigenlijke dalingsschotels, moeten kunnen worden gerealiseerd indien een methode gevonden kan worden om de uit de satellietopnamen verkregen geometrische informatie te koppelen aan het grondreliëf uit de lodingen van Rijkswaterstaat om daarmee de verschillen in waterstanden tussen de verschillende opnames te compenseren.

Kwelders

Voor een nauwkeurig beeld van hoogteveranderingen in de kwelders zou kunnen worden uitgegaan van het tegenwoordige monitoringprogramma van Rijkswaterstaat met profielmetingen over een aantal proefvakken om de 4 jaar. Eventueel zou het interval in bijzonder gevoelige gebieden verkort kunnen worden. Ook voor deze metingen zou (kinematische) GPS mogelijk de optische waterpassing kunnen vervangen.

7. AARDBEVINGEN IN NOORD NEDERLAND

Sinds 1986 hebben er in Noord Nederland een aantal kleine aardbevingen plaatsgevonden.

De aardbevingen hebben geleid tot kamervragen aan de ministers van Economische Zaken en Verkeer en Waterstaat in december 1989 en mei 1991.

Als uitvloeisel van de kamervragen zijn in 1988 een zestal seismometers rond Assen geplaatst.

Tevens is er in oktober 1991 een Begeleidingscommissie ingesteld om een multidisciplinair onderzoek naar de mogelijke relatie tussen gaswinning en aard-

bevingen te begeleiden.

Het onderzoek zal voor 1 november 1993 worden afgerond met een rapportage van de bereikte onderzoeksresultaten en conclusies.

Modelleerstudies zijn uitgevoerd door de TU Delft en Geotechnics Delft. De studie naar de ondergrondse spanningsverdeling is uitgevoerd door de VU Amsterdam.

In november 1992 heeft er een voortgangsrapportage plaatsgevonden (ref. 11).

De conclusies hiervan kunnen als volgt worden samengevat:

Sinds 1986 hebben er 11 kleine aardbevingen in Noord Nederland in de nabijheid van gasvelden plaatsgevonden.

De sterkte van deze aardbevingen varieerde van 1.6 tot 2.8 op de schaal van Richter. De seismische energie, in de vorm van trillingen, die vrijkwam tijdens deze bevingen was ongeveer 10 000 maal kleiner dan de energie die vrijkwam tijdens de Roermond beving van 13 april 1992.

Van de 11 aardbevingen vonden er 5 plaats in de nabijheid van of boven het Eleveld gasveld. Deze werden geregistreerd door het seismometer netwerk dat rond Assen is opgezet. De plaats en diepte van de hypocentra konden daarom vrij accuraat worden bepaald.

Uit interpretatie van de seismogrammen kon worden afgeleid dat de 5 bevingen rond Eleveld werden veroorzaakt door verschuivingen langs een bestaand breukvlak in het gasreservoir op een diepte van ca. 3000 m. Van de andere 6 aardbevingen kon de plaats en de diepte niet goed genoeg worden bepaald om ook deze te kunnen relateren aan gasproductie.

Op basis van de bovengenoemde informatie en de tot nu toe uitgevoerde studies zijn de volgende resultaten beschikbaar:

- Uit de modelleer studies blijkt dat door gasonttrekking (en reservoir compactie) plaatselijk verschuiving langs breukvlakken kan optreden.
- Deze verschuivingen kunnen optreden als plotse bewegingen in de vorm van een kleine aardbeving (seismische slip) of in de vorm van een geleidelijke beweging (a-seismische slip).
- De bevingen bij Eleveld vonden plaats op het reservoir niveau langs een bestaande breuk.
- De aard van het reservoir gesteente (conglomeraat) van het gasveld Eleveld schijnt een plotseling vrijkomen van opgebouwde spanning toe te laten.

Op basis van deze eerste resultaten komt de Begeleidingscommissie tot de conclusie dat in de specifieke geologische situatie van het Eleveld gasveld, gasproductie heeft geleid tot de 5 voornoemde bevingen.

Met betrekking tot de andere aardbevingen zijn de mechanismen nog niet duidelijk en zullen verder bestudeerd worden.

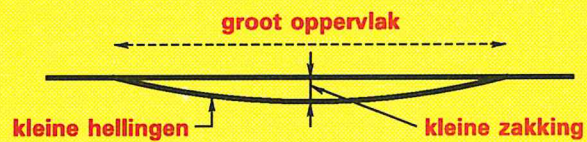
In het eindrapport (Oktober 1993) zal dit onderwerp worden geadresseerd alsmede de maximum te verwachten sterkte en eventuele effecten daarvan aan de oppervlakte daarbij de geologische opbouw van de Noord-Nederlandse bodem in acht nemend.

REFERENTIES

1. Albert P. Oost & Kees S. Dijkema: Effecten van bodemdaling door Gaswinning in de Waddenzee. IBN rapport 025
2. Waterloopkundig Laboratorium in samenwerking met Rijksinstituut voor Natuurbeheer: Gaswinning op Ameland-Oost - effecten van bodemdaling.
3. Commissie Bodemdaling door Aardgaswinning: Studie resultaten betreffende ongelijkmatige zakkingen in verband met aardgaswinning in de provincie Groningen. Maart 1987.
4. Onderzoekscommissie bodemdaling Friesland: 'Bodemdaling in Friesland' (Sakjen fan 'e boaiem yn Fryslân) In opdracht van Minister van Economische Zaken en Gedeputeerde Staten van de provincie Friesland.
5. D. Teeuw: Laboratory measurement of compaction properties of Groningen Reservoir Rock. Verhandelingen van het KNGMG 28, 1973.
6. J. Ph. van Hasselt: Reservoir Compaction and Surface Subsidence resulting from Oil and Gasproduction - a review of theoretical and experimental research approaches - Geologie en Mijnbouw 71, 1992.
7. J. Geertsma: A basic theory of subsidence due to reservoir compaction; the homogenous Case. Verhandelingen van het KNGMG, deel 28, 1973.
8. J. Geertsma en G. van Opstal: A numerical technique for predicting subsidence above compacting reservoirs, based on the nucleus of strain concept. Verhandelingen van het KNGMG, deel 28, 1973.
9. Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V.: Bodemdaling door aardgaswinning, Groningen Veld en Randvelden, Status Rapport 1990, Prognose tot het jaar 2050. Februari 1990.
10. M.N. Toksöz, J.B. Walsh: Bodemdaling boven het Groningen gasveld, een evaluatie van het bodemdalingsprogramma van de NAM. Januari 1990.
11. Brief Min. v. Economische Zaken aan Voorzitter Tweede Kamer: Voortgangsrapportage 'Begeleidingscommissie onderzoek aardbevingen' 12 november 1992.

GASWINNING

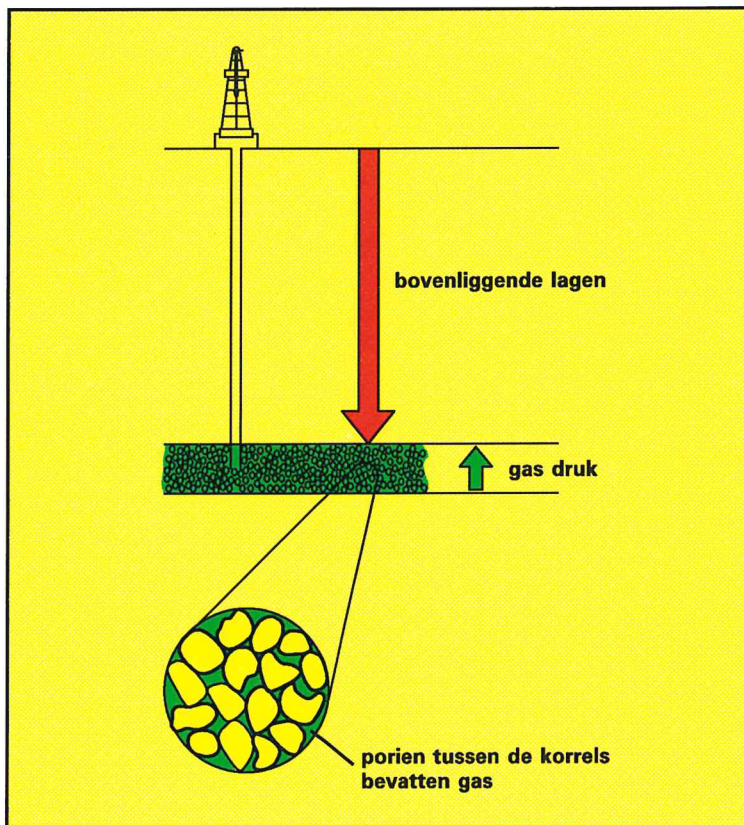
- Er ontstaan geen holle, ondergrondse ruimten
- Producerend zand wordt samengeperst
- Bovenliggende lagen zakken
- Kleine zakking over groot oppervlak



- Geen schade aan gebouwen

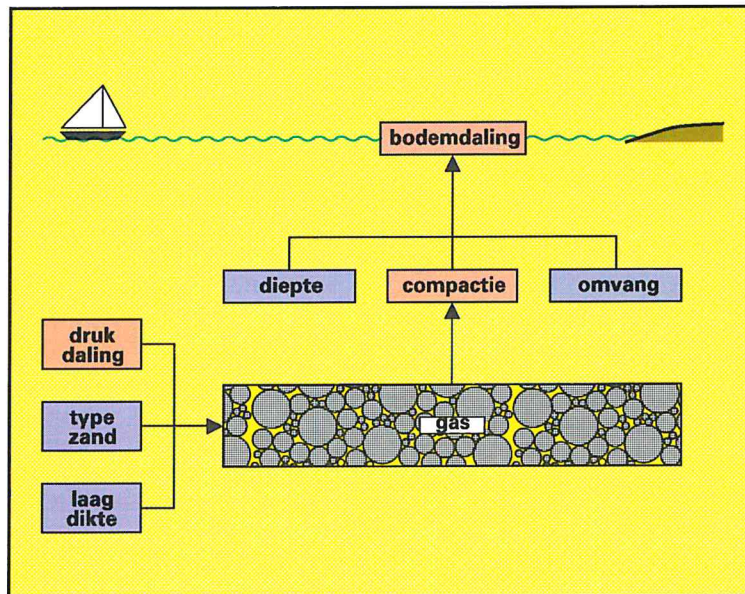
Bijlage 1

BODEMDALING DOOR GESTEENTE – COMPACTIE



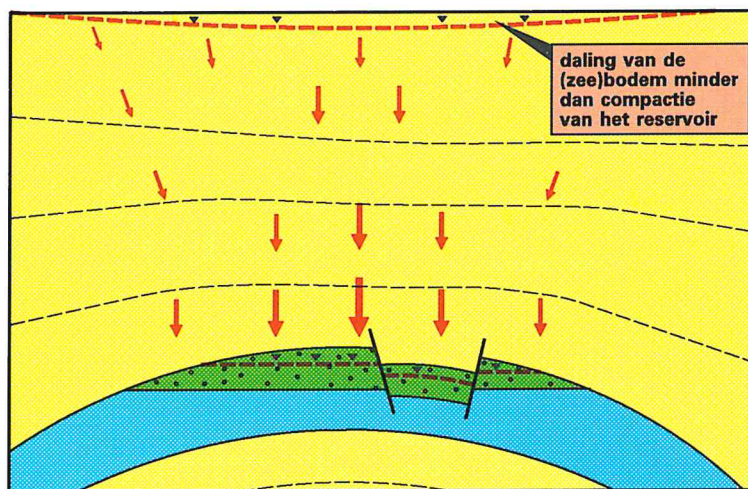
Bijlage 2

OMVANG VAN BODEMDALING FACTOREN VAN INVLOED



Bijlage 3

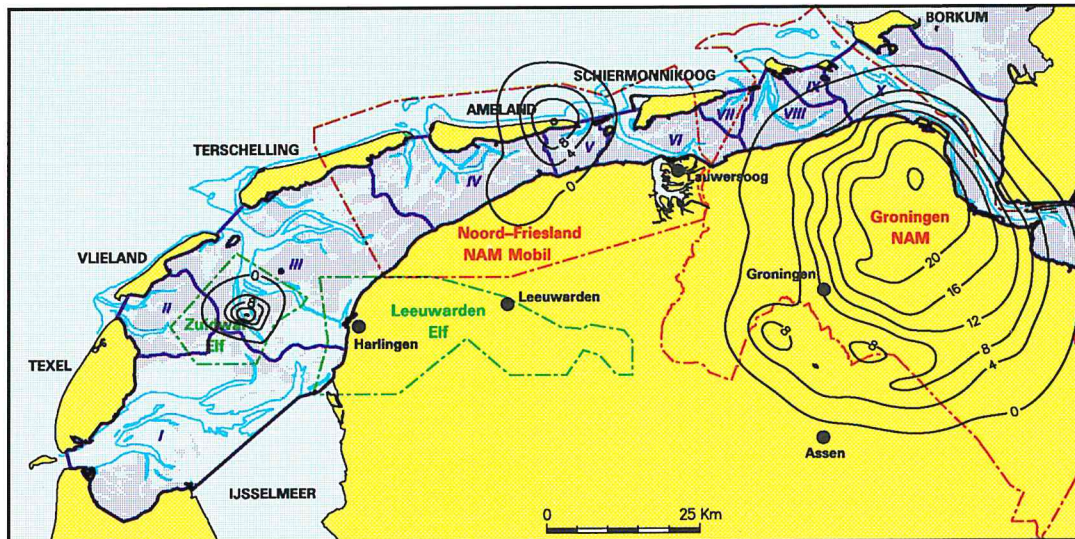
BODEMDALING ALS GEVOLG VAN GASWINNING



Bijlage 4

WADDENZEE

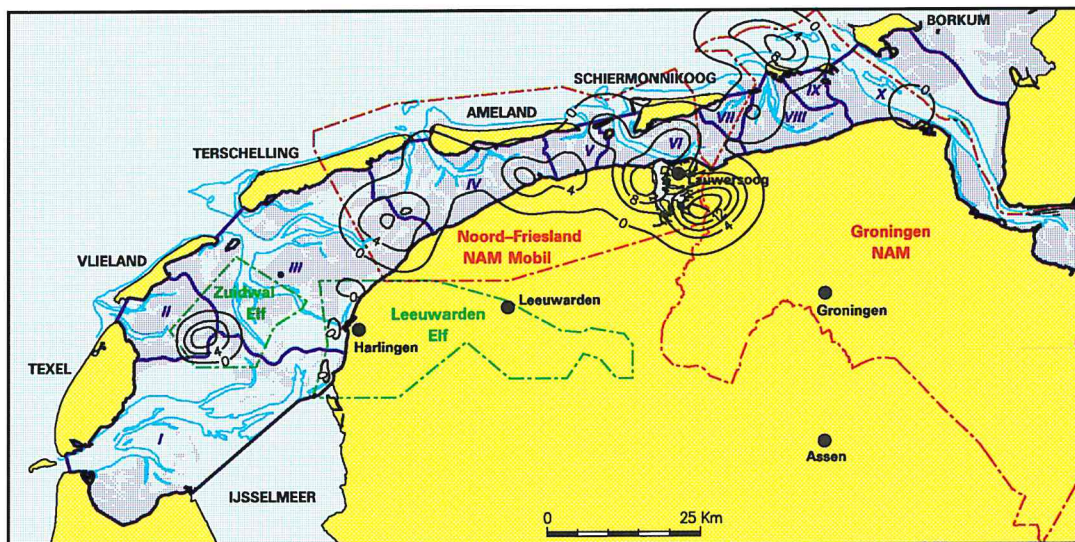
Prognose bodemdaling in cm; situatie 2000
Bestaande velden



Bijlage 5

WADDENZEE

Prognose bodemdaling in cm; situatie 2050
Prospects

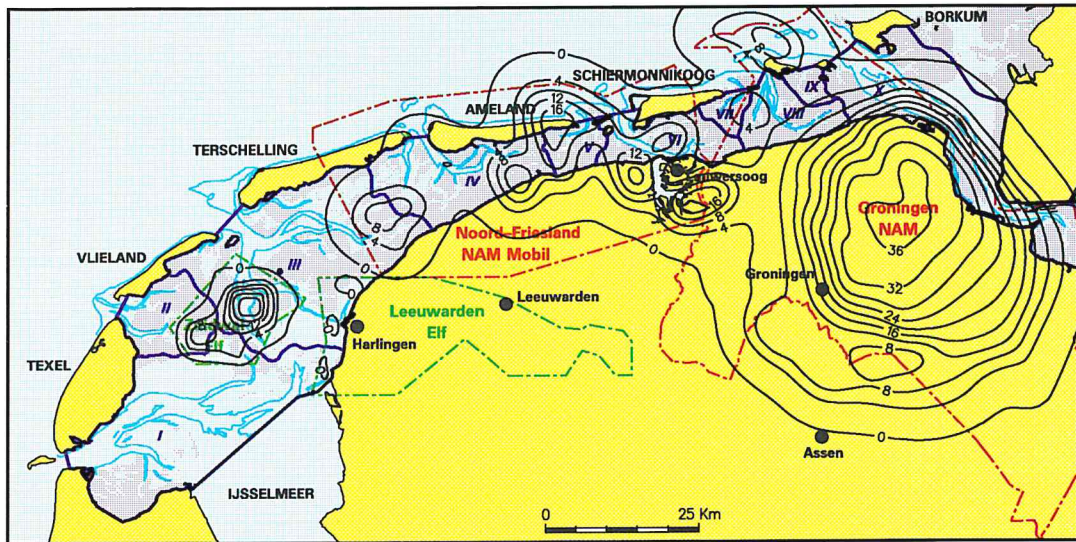


Bijlage 6



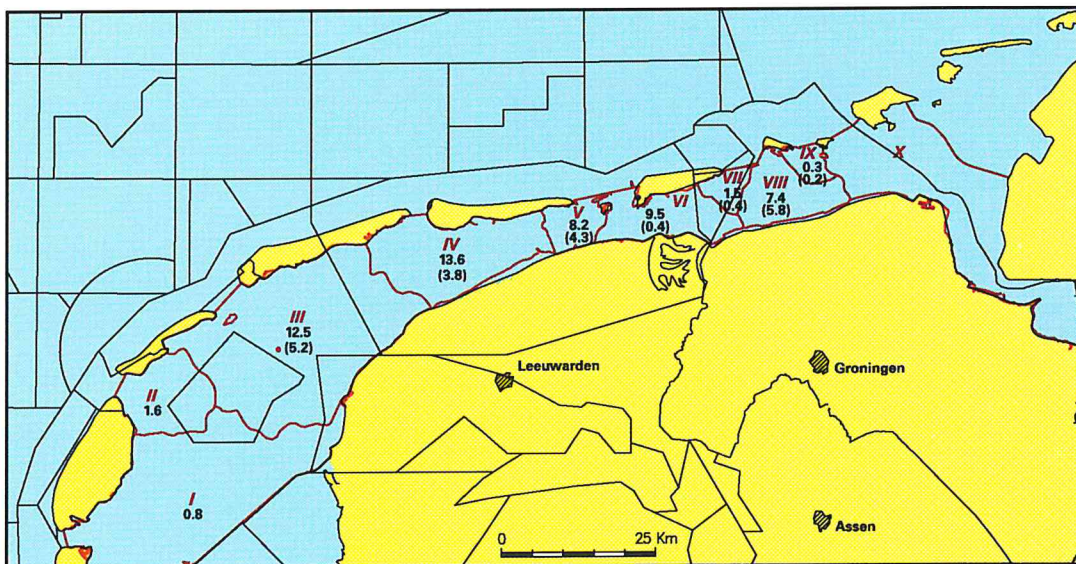
WADDENZEE

Prognose bodemdaling in cm; situatie 2050
Bestaande velden en prospects



WADDENZEE

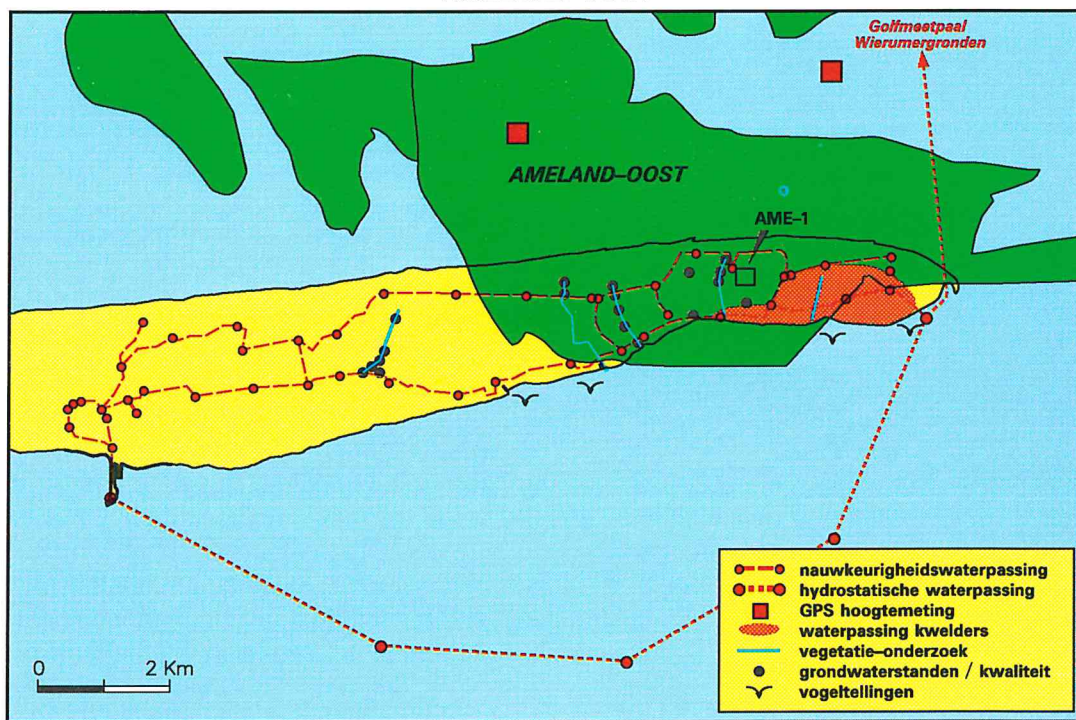
Toename bergingsvolume per kombergingsgebied tot 2050
(in 10^6 m^3)



- IV** kombergingsgebied
7.4 bergingsvolume (in 10^6 m^3)
(5.8) bergingsvolume bestaande productie (in 10^6 m^3)



MONITORING BODEMDALING AMELAND OOST



Bijlage 9

BODEMDALING IN DE WADDENZEE TEN GEVOLGE VAN GASWINNING: 'PROGNOSE EN TOETSING'

TH.H.M. VAN DOORN¹ & J. PÖTTGENS²

¹Rijks Geologische Dienst (RGD), Hoofdafdeling Diepe Ondergrond, Postbus 157, 2000 AD Haarlem

²Staatstoezicht op de Mijnen, Postbus 90, 2280 AB Rijswijk

PROGNOSE

Door de NAM en Elf Petroland is recent een prognose voorgelegd betreffende de te verwachten bodemdaling in de Waddenzee ten gevolge van gaswinning.

De beoordeling van die prognose is van overheidswege door de Rijks Geologische Dienst (RGD) en het Staatstoezicht op de Mijnen gezamenlijk uitgevoerd.

Op basis van haar kennis van de Nederlandse diepe ondergrond en haar geologische expertise heeft de RGD de nadruk gelegd op het beoordelen van de geologische en reservoir-technische invoergegevens voor de prognose. Daarbij werd in belangrijke mate gebruik gemaakt van de kennis, die is opgebouwd in het kader van het bij de RGD in uitvoering zijnde geologisch karteringsprogramma. Nog dit jaar zullen alle kaartbladen met toelichting, die betrekking hebben op de diepe ondergrond van Noord-Nederland inclusief het gebied onder de Waddenzee, zijn gepubliceerd.

Het Staatstoezicht op de Mijnen beschikt over een gedurende vele tientallen jaren opgedane expertise ten aanzien van het vergelijken van voorspelde en gemeten bodemdaling optredend bij vele vormen van delfstoffenwinning in binnen- en buitenland. Op basis van die expertise werd de voor de prognose gehanteerde methodiek voor het bepalen van bodemdaling beoordeeld. Daarbij werd nadrukkelijk gelet op de consistentie met de toegepaste methodiek, die reeds zijn waarde heeft bewezen voor naburige producerende velden met waargenomen bodemdaling (Groningen, Ameland).

De RGD en het Staatstoezicht komen tot de conclusie, dat de door de concessiehouders voorgelegde prognose voor bodemdaling in de Waddenzee door gaswinning in de door hen onderzochte aspecten reëel is. Gewezen wordt evenwel op een aantal — door concessiehouders ook onderkende — onzekere factoren, waaronder de feitelijke uitkomst van toekomstige exploratie. De prognose draagt dan ook het karakter van een op dit moment beste schatting. Het is daarom van groot belang om ook bij toekomstige projecten een adequaat monitoring-programma uit te voeren ten einde feitelijk optredende bodemdaling te meten.

TOETSING

Op grond van bepalingen uit het Mijnreglement '64 en de gebruikelijke concessie-voorwaarden, moet een mijnbouwonderneming bij winning van delfstoffen regelmatig metingen doen om na te gaan of aan de bovengrond een ontoelaatbare situatie ontstaat, als gevolg van deze winning, die nadere maatregelen vereist.

Gaswinning heeft een schotelvormige en geleidelijk verlopende bodemdaling tot gevolg. In de loop van de afgelopen 15 jaar is veel aanvullend onderzoek verricht om na te gaan in hoeverre ongelijkmatige zetting aan de bovengrond samenhangt met differentiële compactie bij gaswinning in de diepe ondergrond. Door een analyse van de historie van de peilmerken in de provincies Groningen en Drenthe is aangetoond dat reeds vóór de periode van gaswinning veel peilmerken instabiel waren. Deze instabiliteit hangt samen met een groot aantal factoren waaronder de lokale bodemgesteldheid, de fundering van het peilmerk, veranderingen in de waterhuishouding ter plaatse enz.

De gaswinning onder en rond de Waddenzee heeft een aantal directe gevolgen, bijvoorbeeld de verlaging van de stranden met beïnvloeding van de afwatering van de kustpolders en hogere overstromingsfrequentie van de kwelders. In morfologisch opzicht verstoort de bodemdaling een dynamisch systeem, dat in een zeker evenwicht verkeert. De indirecte morfologische gevolgen zijn van invloed op de droogvaltijd van de platen en de waarde van deze platen als fourageergebied in de Waddenzee. De kweldervegetatie kan door verandering van de overvloedingsfrequentie veranderen.

Bij de start van de gaswinning uit het veld Ameland-Oost zijn deze specifieke aspecten van de bodemdaling rond en in de Waddenzee nader geanalyseerd. De opgedane ervaring wordt ingebracht bij het ontwerpen van een controle-meetsysteem, dat uiteraard van een geheel andere aard is dan de traditionele waterpasmetingen bij gaswinning op het vasteland.

EFFECTEN VAN BODEMDALING OP ZANDHUISHOUDING EN MORFOLOGIE VAN WADDENZEE EN EILANDKUSTEN

J.P.M. MULDER

Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren / Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ)

HET SYSTEEM

De Waddenzee en de Waddeneilanden zijn te beschouwen als een systeem bestaande uit een reeks in serie geschakelde morfologische cellen. Elk van deze cellen bevat dezelfde karakteristieke morfologische eenheden:

- een vloedkom met geulen en platen (onderdeel van de eigenlijke Waddenzee),
- een buitendelta en
- de eilandkusten.

DE ZANDHUISHOUDING

De zandhuishouding van dit systeem is vrijwel gesloten. Uitwisseling van zand met de diepere Noordzee is verwaarloosbaar klein. De cellen zijn met elkaar verbonden door zandtransporten langs de kust. Binnen elke cel worden voortdurend grote hoeveelheden zand verplaatst. De zandverplaatsingen maken onderdeel uit van het continue streven naar een dynamisch evenwicht tussen de vorm (morfologie) en de voortdurend wisselende stromingsomstandigheden van het getij. In een dynamische evenwichtssituatie is de hoeveelheid zand die gemiddeld bij vloed de vloedkom binnenstroomt, gelijk aan de hoeveelheid welke gemiddeld bij eb de vloedkom weer verlaat.

EXTRA ZANDHONGER DOOR BODEMDALING

Bodemdaling verstoort dit dynamische evenwicht. Bodemdaling betekent een verdieping van de vloedkom (Fig. 1). Verdieping veroorzaakt een afname van de stroomsnelheden en daaraan gekoppeld, een exponentiële afname van de mogelijkheden om zand te transporteren. De met zand beladen vloedstroom zal hierdoor in de vloedkom veel zand afzetten, terwijl de ebstroom niet in staat is dit zand weer mee naar buiten te nemen. In de vloedkom treedt een netto sedimentatie op: de vloedkom heeft zandhonger.

Boven de droogvallende platen — waar de gemiddelde waterdiepte per definitie vele malen kleiner is dan in de geulen — is de invloed van bodemdaling op de waterbeweging en het zandtransport relatief het sterkst. Bij verdieping neemt hier de sedimentatie direct sterk toe. Een geleidelijke bodemdaling of stijging van het gemiddeld hoogwater wordt op de platen vrijwel rechtstreeks door hoogtegroei gecompenseerd.

De sedimentatie herstelt op termijn het oude dynamische evenwicht in de vloedkom. Dat punt wordt bereikt wanneer de verdieping weer is opgevuld, en daarmee de stroomsnelheden en de zandtransportcapaciteit weer op het oude peil zijn gebracht. De totale hoeveelheid zand welke nodig is voor herstel van het evenwicht — de totale zandhonger — is rechtstreeks gekoppeld aan de omvang van de verdieping.

TOENAME KUSTEROSIE

Potentiële bronnen om de zandhonger van de vloedkom te stillen, vormen de buitendelta en de eilandkusten.

Buitendelta's zijn de ietwat kegelvormige zandlichamen, zeewaarts van de zeegaten, welke zijn ontstaan door afzetting van zand dat door de ebstroom uit de vloedkom naar zee is afgevoerd. De afmeting van een buitendelta is in evenwicht met de omvang van de watermassa welke de vloedkom in- en uitstroomt. Het totale volume in- en uitstromend water

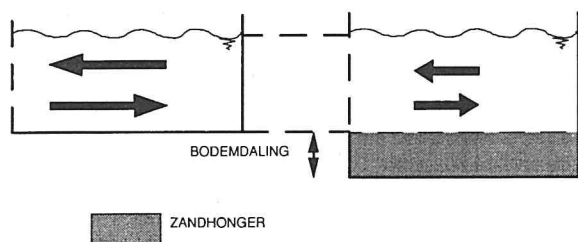


Fig. 1. Effect bodemdaling: afname stroomsnelheid en ontstaan van zandhonger.

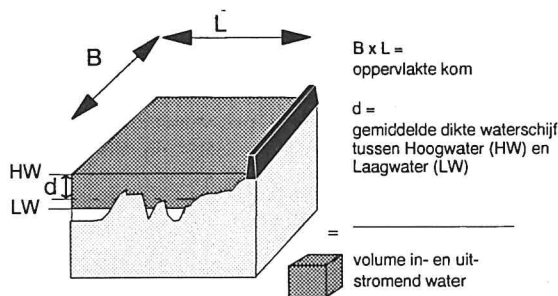


Fig. 2. Geschematiseerde doorsnede van een vloedkom aan landzijde begrensd door een dijk.

van een vloedkom wordt bepaald door de oppervlakte van de vloedkom en de gemiddelde dikte van de waterschijf tussen hoog- en laagwater (Fig. 2).

Een gedeeltelijke afdamming van een vloedkom verkleint de komoppervlakte en daarmee het in- en uitstroom volume. Om tot een nieuw evenwicht te komen zal de omvang van de buitendelta moeten afnemen. Afsluiting van de Lauwerszee laat een dergelijk effect zien. De buitendelta van het Friese Zee-gat wordt — 24 jaar na afsluiting van de Lauwerszee — nog steeds kleiner. Het tempo van aanpassing is echter thans veel lager dan in de eerste jaren na de afsluiting (1969).

Bodemdaling leidt tot een ander proces. Bodemdaling heeft geen invloed op de oppervlakte van de vloedkom en, omdat de gemiddelde diepte van droogvallende platen door hoogtegroeï vrijwel gelijk blijft, ook niet op de gemiddelde dikte van de waterschijf tussen hoog- en laagwater. Daarom zal bodemdaling geen noemenswaardig effect hebben op het volume in- en uitstromend water. De consequentie hiervan is dat de afmeting van de buitendelta onveranderd blijft. De buitendelta kan geen zand leveren. Erosie van de eilandkusten vormt bij bodemdaling de enige bron ter compensatie van de ontstane zandhonger in de vloedkom.

Zeespiegelstijging zet een vergelijkbaar mechanisme in werking als bij bodemdaling: zandhonger in de vloedkom leidt tot kusterosie. Bodemdaling en zeespiegelstijging beperken zich echter niet tot de vloedkom, maar leiden ook tot verdieping van de kustzone zelf. Ook deze rechtstreekse verdieping van de kustzone betekent kustachteruitgang.

Alle ontwikkelingen resulteren dus in erosie van de (eiland)kustzone, wanneer niet door zandsuppleties het evenwicht daar weer hersteld wordt. De totale omvang van de te verwachten erosie — rechtstreeks gekoppeld aan de optredende verdieping — kan met redelijke zekerheid worden voorspeld. Waar erosie plaatsvindt, op welk tijdstip en in welke mate is nog niet te voorspellen.

PROGNOSE EFFECTEN BODEMDALING DOOR GASWINNING

In de Waddenzee zal de bodemdaling door winning van de nieuwe vermoedelijke gasvoorraden (de prospects) verantwoordelijk zijn voor een verdieping van naar schatting rond 45 miljoen m^3 , terwijl de bestaande gaswinningen in de orde van 58 miljoen m^3 bijdragen (RGD, 1993). Dit uitgaande van volledige uitputting van de gasvelden. Voor het totaal van de kusterosie moet hier nog aan worden toegevoegd het effect van de bodemdaling in de kustzone zelf: voor de eventuele nieuwe winningen geraamd op 9 miljoen m^3 en voor bestaande op 7 miljoen m^3 .

De voorgestelde nieuwe gaswinningen zullen de zandvraag aan de kust dus in totaal doen toenemen met rond 54 miljoen m^3 . Deze extra zandvraag zal optreden over een periode van 100 jaar. Uitgaande van een periode van 40 jaar waarover bodemdaling door gaswinning zich doet voelen, zal na 40 jaar ongeveer 70% van de zandhonger zijn gestild. De jaarlijkse zandvraag aan de Waddenkust zal de eerste 40 jaar dus toenemen met ca. 1 miljoen m^3 . Dit betekent een toename met rond 25% ten opzichte van de zandvraag bij de huidige zeespiegelstijging van 17 cm/eeuw, en met rond 7.5% rekening houdend met een versnelde stijging van 60 cm/eeuw.

Gegeven het bestaande kustbeleid dat is gericht op handhaving van de kustlijn (Nota Kustverdediging na 1990), is het duidelijk dat compenserende maatregelen nodig zijn, bijvoorbeeld in de vorm van extra zandsuppleties.

Jaarlijks trekt het Rijk ca. 60 miljoen gulden uit voor het aanvullen van zand in geërodeerde kustdelen. Uitgaande van een kostprijs van 10 gulden per m^3 zal ter compensatie van de bodemdalingseffecten, dit jaarlijkse budget met ca. 15% moeten worden verhoogd.

De droogvallende wadplaten vertonen, zoals reeds boven gemeld, de tendens om een stijging van de gemiddelde waterdiepte door hoogtegroeï te compenseren. Zeker geldt dit bij een beschouwing over een langere periode van zeg, een eeuw. De groeisnelheid van de platen kan echter van plaats tot plaats en van tijd tot tijd sterk variëren. Over een kortere periode beschouwd — bijvoorbeeld gedurende enkele tientallen jaren — kan dan ook de plaatgroeï wat achterblijven. Het maximale effect dat hierdoor als gevolg van de voorgenomen nieuwe gaswinningen na 40 jaar kan optreden, is geraamd op een verlies aan plaatoppervlakte van ca. 1%, en lokaal een afname in plaathoogte van ca. 10 cm.

REFERENTIE

RWS, 1993. Invloed van Gaswinning op de Waddenzee, Nota Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren/RIKZ,

Directie Groningen, Directie Friesland en Directie Noord Holland, 30 juli 1993

* antwoord op vragen mevr. van Berkel (provincie Groningen):

* antwoord op vraag W. Kuiper (Waddenvereniging):

Bodemdaling door de voorgestelde nieuwe gaswinningen zal de komende 40 jaar een zandvraag aan de kust veroorzaken van jaarlijks ca. 1 miljoen d. De huidige zeespiegelstijging van 17 cm/eeuw vraagt jaarlijks ca. 4 miljoen m³, een versnelde zeespiegelstijging van 60 cm/eeuw zal jaarlijks het viervoudige vragen.

De wadplaten compenseren de huidige snelheid van zeespiegelstijging (17 cm/eeuw) volledig door hoogtegroeï. Bodemdaling onder invloed van de voorgestelde gaswinning, gecombineerd met een versnelling in de zeespiegelstijging tot 60 cm/eeuw, leidt voor de duur van de gaswinning (= 40 jaar) tot een stijgsnelheid van de relatieve zeespiegel die, afhankelijk van de beschouwde vloedkom, varieert tussen de 60 en 95 cm/eeuw. Uit waarnemingen blijkt dat in de huidige situatie groeisnelheden van platen in dezelfde grootte orde voorkomen. Het plaatsysteem heeft klaarblijkelijk de potentie om een grote range van optredende stijgsnelheden van de zeespiegel door hoogtegroeï te compenseren. Voor de kortere termijn kan een vertraging in de plaatgroeï optreden. Over een periode van 40 jaar is de hierdoor veroorzaakte achteruitgang van de platen als gevolg van een versnelling in de zeespiegelstijging tot 60 cm/eeuw, van dezelfde grootte orde als ten gevolge van de voorgestelde gaswinningen.

1. Het stillen van de zandhonger is afhankelijk van de beschikbaarheid van zand en de mogelijkheden om zand te transporteren van de zandbron naar de 'zandput'. Gerelateerd aan de zandhonger vormen de eilanden een oneindig grote zandbron, terwijl de huidige getransporteerde zandhoeveelheden vele malen groter zijn dan de optredende netto sedimentatie. Zowel de zandbronnen als de transportmogelijkheden vormen dus geen beperking voor het stillen van de zandhonger.

2. Het benodigde zand voor extra kustsuppleties ter compensatie van de optredende erosie kan worden gevonden op de diepere Noordzee (beneden -20 m NAP).

* antwoord op vragen Anoniem:

1. Bij zandsuppleties wordt zowel aan mogelijke suppleties op het strand als op de onderwateroever gedacht. Momenteel worden de mogelijkheden van onderwateroever-suppleties nader onderzocht via een praktijkproef voor de kust van Terschelling.

2. Een kostenvergelijking tussen suppleren van eilanden en niet suppleren (= laten migreren van eilanden) vergt een afweging van meer aspecten dan de zandhuishouding alleen. Een uitspraak over goedkoper of niet goedkoper is dan ook niet zonder meer te geven.

EFFECTEN VAN BODEMDALING DOOR GASWINNING OP KWELDERS IN DE WADDENZEE

KEES S. DIJKEMA

DLO-Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek, Postbus 167, 1790 AD Den Burg

SAMENVATTING EN CONCLUSIES

Als gevolg van toekomstige gaswinning uit verschillende kleine velden in de Waddenzee zal bodemdaling optreden. In een studie door het Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek afdeling Aquatische Ecologie (Texel) en de Universiteit Utrecht, Faculteit Aardwetenschappen is de bestaande kennis over de beschikbaarheid van sediment en de sedimentatie op kwelders en wadden samengevat. Deze kennis is vergeleken met de prognoses van de NAM voor de bodemdaling. Eventuele effecten anders dan die van bodemdaling aan de oppervlakte als gevolg van gaswinning komen in deze studie niet aan de orde.

INLEIDING KWELDERS

Natuurlijke vastelandskwelders zijn in de Waddenzee vrijwel geheel verdwenen omdat de inpolderingen de natuurlijke aanwas verre hebben overtroffen. De huidige vastelandskwelders in Friesland en Groningen zijn het resultaat van het stimuleren van sedimentatieprocessen d.m.v. de kwelderwerken. In de oostelijke Waddenzee zijn er momenteel meer eilandkwelders dan in een natuurlijke situatie (gevolg van stuifdijken) en in de westelijke Waddenzee veel minder (gevolg van inpolderingen).

Omdat kwelders in het bereik van het getij liggen vindt er sedimentatie en erosie plaats. Als de hoogte door sedimentatie voldoende toeneemt, verschijnen spontaan de pionierplanten Engels slijkgras en zee-kraal. Naast de hoogteligging bepalen de golfenergie en de stevigheid van het sediment de mogelijkheden voor pionierplanten om zich te vestigen. Rond het niveau van gemiddeld hoogwater bereikt het overjarige kweldergras voldoende bedekking om (a) de opslibbing op te voeren tot de hoogste waarden in de gehele kwelderontwikkeling, om (b) de ontwikkeling van een natuurlijk krekensysteem in gang te zetten en om (c) erosie van de gevormde jonge kwelder tegen te gaan. Het ontstaan van het krekensysteem is een belangrijke stimulans voor de groei van de meeste kwelderplanten (betere ontwatering) en bevordert de successie naar de opvolgende vegetatietypen in de kwelderontwikkeling.

Jaar-op-jaar-veranderingen in GHW blijken gevol-

gen te hebben voor de plantensamenstelling van de kwelderzones. De vegetatiezones zullen uiteindelijk parallel aan de trend in de waterstand opschuiven (afgezien dus van eventuele opslibbing). In de Oostzee is dit voor de bodemstijging daar aangetoond, echter alleen op de lange termijn. Binnen een termijn van tien jaar blijken de jaar-op-jaar-veranderingen van meer belang te zijn. Eén jaar met een verandering in GHW van 5 tot 10 cm kan al tot een verschuiving van sommige planten leiden. Deze veranderingen vinden in hetzelfde jaar plaats bij een lager GHW en worden één of meer jaren vertraagd bij een hoger GHW. De vertraging in de reactie van de vegetatie op hogere waterstanden biedt de mogelijkheid van een verhoogde opslibbing in de jaren met een hogere relatieve waterstand (de sedimentaanvoer is dan hoger en de beschermende werking van de vegetatie blijft).

KWELDERWERKEN LANGS DE FRIESE EN GRONINGER KUST

Het beleid in de Waddenzee is gericht op het behoud en herstel van natuurwaarden. In 6000 ha voormalige landaanwinningswerken langs de vastelandskust van Friesland en Groningen zijn de natuurwaarden mede door beheersmaatregelen van de Rijkswaterstaat (rijshoutdammen en greppels) gecreëerd. De basiseenheid van de huidige kwelderwerken in Groningen en Friesland is een bezinkveld van meestal 400 bij 400 m. De begrenzing wordt gevormd door rijzen-dammen loodrecht op de kust (hoofddammen en soms tussendammen) en rijzendammen evenwijdig aan de kust (dwarsdammen). Een rijzendam bestaat uit twee rijen palen met daartussen rijshout. Op de meeste plaatsen liggen drie bezinkvelden van de dijk naar het wad.

In de kwelderwerken heeft een overjarige kweldervegetatie met o.a. kweldergras het grootste en meest blijvende effect op de opslibbing. Ontwatering d.m.v. begreppeling speelt een belangrijke rol bij de vestiging en handhaving van de kweldervegetatie in deze zone en een te intensieve beweiding schaadt de vegetatie en daarmee de opslibbing. Maximale waarden voor de opslibbing worden gevonden in de beginnende kwelder tussen GHW en 20 cm daarboven. De

opslibbing in de kwelderzone is 18 mm per jaar voor Friesland en 13 mm per jaar voor Groningen, gemiddeld voor de lage en middenkwelders en voor de periode 1960-1992.

In de pionierzone tussen de kweldervegetatie en de buitenste bezinkvelden (globaal tussen GHW en 60 cm onder GHW) worden gebieden met onvoldoende opslibbing en soms erosie aangetroffen, wat op de lange termijn het gevaar van kliferosie inhoudt. Er is een relatie tussen dit opslibbingstekort en een te grote strijklengte van de golven in uitsluitend deze zone aangetoond. Dat komt door het grote effect van kleine golfjes in deze ondiepe zone; rijshoutdammen zijn zeer effectief gebleken in het verminderen van de golfenergie in de pionierzone, mits de strijklengte niet meer dan 200 m is. De erosieproblemen in de pionierzone worden momenteel structureel opgelost door een verkleining van de betreffende bezinkvelden.

De mate van opslibbing in de kwelderwerken wordt dus voor een deel bepaald door de aanwezigheid van een kweldervegetatie (vooral in de eerste bezinkvelden) en door de opslibbingscondities van de omgeving (vooral in de buitenste bezinkvelden). In de kwetsbare pionierzone daartussen bepalen de toestand van de rijzendammen en de strijklengte binnen de bezinkvelden de opslibbing.

Hoewel er een duidelijk verband bestaat tussen hoogte t.o.v. GHW en vegetatietype, en dus ook tussen maatregelen die de opslibbing bevorderen en vegetatieontwikkeling, is dit verband niet altijd eenduidig. Dat komt omdat andere factoren zoals GHW-veranderingen en weersomstandigheden in het voorjaar eveneens invloed uitoefenen op de vegetatieontwikkeling en op de korte termijn voor belangrijke veranderingen in het kwelderoppervlak kunnen zorgen. Voor de vegetatieontwikkeling op de lange termijn is de opslibbing echter van doorslaggevend belang.

RANDVOORWAARDEN VOOR KWELDERS AAN BODEMDALING

In de kwelderzone van de kwelderwerken is de maximaal aanvaardbare grens voor bodemdaling 13 tot 18 mm per jaar. Gebaseerd op deze cijfers en op infor-

matie uit de literatuur is voor de overige vastelandskwelders (inclusief uitgedijkte zomerpolders) 10 mm per jaar aangenomen. Aan de wadkant van de eilanden ligt de grens lager: 5 mm per jaar is een conservatieve schatting voor de lage kwelders. Deze cijfers zijn aan de veilige kant omdat een hogere waterstand (of bodemdaling) tot een toename van de opslibbing in de kwelderzone leidt.

Zeewaarts van de kwelder ligt er een kritische zone op de grens met het wad: de pionierzone. Langs de vastelandskust wordt de opslibbing in die zone momenteel kunstmatig in stand gehouden met het traditionele beheer van de kwelderwerken. Op de eilanden bepalen grootschalige morfologische processen de sedimentbalans in de pionierzone; die leiden tot een snelle aanwas (b.v. De Hon) of tot klifvorming (b.v. Neerlands Reid).

VERGELIJKING VAN DE PROGNOSE VAN DE NAM MET DE RANDVOORWAARDEN AAN BODEMDALING VOOR DE VERSCHILLENDE KWELDERS

Als prognose voor de bodemdaling is een kaart van de NAM met een 'mogelijk produktiescenario' aangehouden, waarop de verwachte bodemdaling tot het jaar 2050 voor de nieuwe gasvelden (dus zonder Ameland, Blija, Zuidwal en Slochteren). De aanname wordt gedaan dat de helft van deze bodemdaling in de eerste tien jaar van winning zal plaatsvinden, omdat in deze periode de drukdaling in de gasvelden het grootst zal zijn. Voorts is aangenomen dat alle nieuwe velden tegelijk worden gewonnen. Een worst-case-benadering voor de bodemdaling per jaar wordt dus gevonden door de prognose van de NAM te delen door twintig. Na die eerste tien jaar neemt de bodemdaling sterk af. Daarom zijn de bestaande kleine velden (b.v. Ameland) ook niet meegenomen omdat daar volgens het NAM-scenario nog maar relatief weinig bodemdaling zal optreden op het moment dat de nieuwe gaswinning begint.

Uit de tabel blijkt dat voor de kwelderzone van de kwelderwerken bij deze worst-case-benadering geen problemen verwacht worden, zelfs niet bij een cumulatieve van de bodemdaling met de toekomstige zeespiegelstijging. Het is daarom onwaarschijnlijk dat het

TABEL 1
Randvoorwaarden aan bodemdaling en zeespiegelstijging (in mm per jaar).

	<i>gebied</i>	<i>gemiddelde opslibbing</i>	<i>veilige grens</i>
Kwelderzone	Friese kwelderwerken	18	18
	Groninger kwelderwerken	13	13
	Vasteland, overig	?	10
	Eilanden, lage kwelders	3-8	5
Pionierzone	Vasteland	afhankelijk van systeem van rijzendammen	
	Eilanden	afhankelijk van grootschalige processen	

TABEL 2

Vergelijking van de globale opslibbingscijfers voor de kwelderzone met de worst-case-prognose van de NAM voor bodemdaling (de helft van de daling in de eerste tien jaar van productie = totaal gedeeld door 20). Alle cijfers in mm per jaar. () = sedimentbalans bij ongewijzigde opslibbing.

	<i>opslibbing kwelderzone</i>	<i>worst-case- bodemdaling</i>	<i>bodemdaling + GHW-stijging</i>	<i>bodemdaling +zeespiegelstijging</i>
Friese kwelderwerken (121-250)	18	1-4 (+)	3-6 (+)	7-10 (+)
Groninger kwelderwerken (250-298)	13	1-2 (+)	3-4 (+)	7- 8 (+)
Ferwerd-Holwerd zomerpolders	0	2-6 (-)	4-8 (-)	8-12 (-)
Ferwerd-Holwerd zomerpolders	10	1-3 (+)	3-5 (+)	7- 9 (+)
Ferwerd-Holwerd zomerpolders	10?	4-6 (+)	6-8 (+)	10-12 (-)
Ferwerd-Holwerd ontpolderd	5	0-1 (+)	2-3 (+)	6- 7 (-)
Paesumerlannen	5	1-2 (+)	3-4 (+)	7- 8 (-)

areaal van de vastelandskwelders rechtstreeks wordt beïnvloed door een regressieve successie van de vegetatie van de lage kwelder, d.w.z. dat de ontwikkeling van de kweldervegetatie weer terug zou gaan in de richting van pioniervegetatie of onbegroeid wad. De pionierzone wordt hierna bij de opslibbingscijfers van de kwelderwerken behandeld.

Zomerpolders zijn potentieel volwaardige kweldergebieden die echter door lage dijken tegen zomervloeden worden beschermd. Door winterstormen kan er nog overstroming optreden. Er bestaan vergevorderde plannen om in het kader van natuurontwikkeling de zomerpolders aan te kopen en de zomerkaden door te steken om zodoende de kwelders te herstellen. Dat heeft consequenties voor de effecten van bodemdaling op de zomerpolders langs de Friese noordkust. Zonder ontpoldering is er nagevoel geen opslibbing en zullen deze gebieden dus met de waarde van de totale prognose zakken. Indien de zomerdijken niet verhoogd worden, neemt daarvoor het aantal overstromingen toe. Met ontpoldering mag een opslibbing van ca. 10 mm per jaar verwacht worden wat tot gevolg heeft dat de worst-case-bodemdaling en de cumulatie daarvan met de GHW-stijging (en met de toekomstige zeespiegelstijging) zonder problemen gevolgd kan worden. De zomerpolders liggen in de beschutting van de kwelderwerken zodat een pionierzone niet aanwezig is.

Voor de Paesumerlannen in Noordoost-Friesland zijn geen concrete opslibbingscijfers beschikbaar, maar de worst-case-bodemdaling en de cumulatie daarvan met de GHW-stijging blijft binnen de opslibbing die op een dergelijke kwelder verwacht mag worden; cumulatie met de toekomstige zeespiegelstijging zou te veel kunnen worden (onder de worst-case-aannames van een ongewijzigde opslibbing van 10 mm per jaar en voor de eerste tien jaar van winning). De Paesumerlannen zijn een kweldergebied dat is ontstaan nadat de kaden om een zomerpolder zijn doorgebroken. Er is geen echte pionierzone in de vorm van een geleidelijke overgangszone naar het wad aanwezig. De kwelderrand wordt beschermd door de voormalige zomerkade. De zomerkade is plaatselijk in een slechte staat van onderhoud. Hier

zou een probleem met klifvorming en terugschrijdende erosie van de kwelder kunnen ontstaan.

Voor de eilandkwelders op Schiermonnikoog en de Rottumerplaat wordt een bodemdaling verwacht die geringer is dan de opslibbing en dat geldt ook voor de bodemdaling gecumuleerd met GHW-stijging. De verwachte zeespiegelstijging van 6 mm per jaar is 1 mm per jaar groter dan de randvoorwaarde voor de eilanden. Cumulatie van de relatief geringe bodemdaling met de verwachte zeespiegelstijging overschrijdt daarom de gestelde randvoorwaarden voor deze eilanden (onder de worst-case-aannames van ongewijzigde opslibbing van 5 mm per jaar en voor de eerste tien jaar van winning).

Conclusie: Uit deze globale benadering voor de verschillende kweldergebieden blijkt dat er als gevolg van bodemdaling en de huidige GHW-stijging geen problemen met de sedimentbalans ontstaan.

Conclusie: Bij een zeespiegelstijging van 6 mm per jaar en een conservatieve waarde voor de opslibbing zou er in de Paesumerlannen, op Schiermonnikoog en op de Rottumerplaat tijdelijk een gering opslibbingstekort van totaal resp. 20, 20 en 30 mm kunnen ontstaan gedurende de eerste tien jaren van gaswinning.

Conclusie: De kwelderrand van de Paesumerlannen vraagt extra aandacht.

VERGELIJKING MET DE OPSLIBBING IN DE KWELDERWERKEN PER ZONE

Voor de kwelderwerken kan de vergelijking van de bodemdaling met de opslibbing zeer gedetailleerd en voor alle zones plaatsvinden op basis van het omvangrijke gegevensbestand van de Rijkswaterstaat Dienstkring Delfzijl. De 'worst case' voorspelling voor de bodemdaling is op deze cijfers losgelaten. Voor 25 jaar, verdeeld over vier tijdvakken, is gesimuleerd hoe de sedimentbalans er uit zou zien indien deze worst-case-bodemdaling in dat tijdvak plaatsgevonden zou hebben. De sedimentbalans blijft gemiddeld steeds positief voor alle kwelderdelen.

De conclusie uit de globale vergelijking van de verschillende kwelders wordt dus bevestigd: er zijn geen effecten van bodemdaling en zeespiegelstijging in de kwelderzone van de kwelderwerken te verwachten.

In het middengebied van de Friese kwelderwerken worden onder aanname van de helft van de bodemdaling in de eerste tien jaar negatieve effecten van betekenis in de pionierzone en de slikzone verwacht. Van de slikzone is bekend dat golfenergie een minder grote rol speelt dan in de pionierzone en dat meestal de hoogteontwikkeling van het voorliggende wad wordt gevolgd; daarom wordt uitgegaan van een zekere mate van 'zelfregulatie' in deze zone.

Conclusie: Er ontstaat een (toename van het) opslibbingstekort in de pionierzone van het middendeel van de Friese kwelderwerken (Ferwerd-Holwerd), een slecht opslibbingsgebied dat vrijwel volledig samenvalt met de hoogst prognose voor de bodemdaling.

Volgens gegevens uit de literatuur en het 33-jarig gegevensbestand van de kwelderwerken is dat het probleem bij zeespiegelstijging: een opslibbingstekort in de pionierzone leidt op den duur tot kliferosie van de achterliggende kwelders. Rijkswaterstaat heeft in deze pionierzone al een aangepast beheer ingezet om de huidige erosieproblemen op te lossen. Hierna zal naar de mogelijkheden van mitigerende maatregelen worden gekeken, die de extra effecten van bodemdaling kunnen tegengaan.

MITIGERENDE MAATREGELEN VOOR HET MIDDENDEEL VAN DE FRIESE KWELDERWERKEN

Uit onderzoek is gebleken dat de sedimentbalans in de pionierzone van vastelandskwelders vooral wordt bepaald door de slibhuishouding. Slib is in overmaat aanwezig en de beperkende factor is beschutting tegen golfenergie. In het verleden vond opslibbing in beschutte baaien op grote afstand van de zeegaten plaats. Na alle inpolderingen van de afgelopen eeuwen vindt aanwas langs het vasteland van de Waddenzee hoofdzakelijk plaats in de bezinkvelden van de kwelderwerken. Rijshoutdammen zijn daarbij al zestig jaar een effectief middel gebleken om de golfenergie te verminderen. Omdat plaatselijk opgewekte kleine golven erosie in deze pionierzone kunnen veroorzaken moet de afstand tussen de rijzendammen verkleind worden tot hooguit 200 m om erosie in slechte opslibbingsgebieden te voorkomen.

De conclusie is dat het opslibbingstekort in de pionierzone van het middendeel van de Friese kwelderwerken opgelost kan worden. Dat kan door de huidige bezinkvelden van 400 x 400 m te

verkleinen door extra rijshoutdammen in die zone te plaatsen en door alle reeds bestaande rijshoutdammen te verhogen tot de oorspronkelijke maat van 30 cm boven GHW. Op deze wijze kan de opslibbing in de pionierzone van de kwelderwerken worden hersteld op een wijze die past in de doelstellingen van de PKB Waddenzee.

MITIGERENDE MAATREGELEN VOOR DE PAESUMERLANNEN

De kwelderrand van de Paesumerlannen wordt beschermd door een voormalige zomerkade. Er zijn geen kwelderwerken aanwezig.

Conclusie: De oeververdediging rond de Paesumerlannen dient in goede conditie te worden gehouden om klifvorming en terugschrijdende erosie te voorkomen.

MITIGERENDE MAATREGELEN VOOR DE ZOMERPOLDERS

Het kabinet vindt behoud en uitbreiding van het areaal aan vastelandskwelders wenselijk. Daartoe wordt in vigerende beleidskaders het ontpolderen van de Friese zomerpolders voorgesteld.

Conclusie: Met het ontpolderen van de Friese zomerpolders worden verdere mitigerende maatregelen voor de zomerpolders overbodig.

MONITORINGPROGRAMMA VOOR DE KWELDEERS

Op Ameland (bodemdalingsgebied) en langs de vastelandskust (kwelderwerken) zijn goede ervaringen opgedaan met een monitoringsysteem. Daarbij worden o.a. de hoogteligging, opslibbing, vegetatieontwikkeling en op Ameland de broedvogels gevolgd.

Conclusie: Met behulp van een monitorsysteem kan de ontwikkeling van het kwelderareaal, de hoogteligging en de vegetatie in de kwelderwerken worden gevolgd en kunnen ongewenste ontwikkelingen en het beheer eventueel worden bijgestuurd. Voorgesteld wordt het bestaande monitoringsysteem van de RWS (Dienstkring Delfzijl en Meetkundige Dienst) voor dit doel aan te passen. Het monitoringsysteem moet ook uitsluitel geven over de effecten van de bodemdaling op de sedimentbalans in de buitenste bezinkvelden. Aanpassing in de zin van uitbreiding of afstoten van het dammenbestand in de buitenste bezinkvelden zijn op grond daarvan mogelijk.

Conclusie: Voorgesteld wordt dit monitoringsysteem bij voorgenomen gaswinning in dit gebied

uit te breiden naar de Paesumerlannen en de zomerpolders.

Fundamenteel onderzoek naar de interacties tussen sediment, golven, plantengroei en zeespiegelveranderingen vergroot de kansen op meer natuurlijke en wellicht goedkopere beheersmaatregelen aan de vastelandskust. In dat licht kan ook een herstel van de mosselbanken een waardevolle maatregel zijn (zie bijdrage A.P. Oost). Met de voorgestelde verdichting van het bestand aan rijshoutdammen is het op termijn misschien mogelijk tot een vermindering van het graafwerk in de pionierzone te komen en in de buitenste bezinkvelden de natuur haar gang te laten gaan.

STELLINGEN

- De effecten van bodemdaling door de voorgenomen gaswinning in de Waddenzee vallen binnen de natuurlijke dynamiek van het systeem.

- De eventuele uitvoering van gaswinning dient zorgvuldig in een winningsplan te worden geregeld met o.a. aandacht voor:

- mitigerende maatregelen (zandsuppleties, rijzen-dammen, monitoring);
- landschappelijke aspecten;
- zoveel mogelijk vermijden van baggerwerk;
- vermijden van verstoring van wadvogels en zeehonden.

LITERATUUR

OOST, A.P. & K.S. DIJKEMA, 1993. Effecten van bodemdaling door gaswinning in de Waddenzee. IBN-rapport 025. DLO-Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek, Texel/ Universiteit Utrecht, fac. Aardwetenschappen. 134 p. + 7 bijl.

MOGELIJKE EFFECTEN VAN BODEMDALING OP WADVOGELS

C. SWENNEN

Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee (NIOZ), Postbus 59, 1790 AB den Burg, Texel

Het is thans in brede kring bekend dat de Waddenzee van wezenlijk belang is voor een groot aantal vogelsoorten. Het belang wordt het duidelijkst geïllustreerd door een wereldkaart waarop het verspreidingsgebied staat aangegeven van de vogels die de Waddenzee bewonen (Fig. 1). Al naar gelang de soort broeden ze in het Waddengebied zelf of ten Noorden daarvan in een strook zo breed als van het Noord-Oosten van Canada tot halverwege Siberië.

Mede doordat de meeste vogels van de Waddenzee in bepaalde tijden van het jaar in andere landen verblijven, is er ook ver buiten onze grenzen belangstelling voor het wel en wee van de avifauna in ons Waddengebied. Onze regering heeft daarom ook de behoefte gevoeld in een aantal internationale verdra-

gen vast te leggen dat zij het gebied zal beschermen, vooral met het oog op de vogelwereld: Joint declaration on the protection of the Wadden Sea, December 1982; Convention on the conservation of migratory species of wild animals, June 1979 (Conventie van Bonn); Convention on the conservation of European wildlife and natural habitats, September 1979 (Verdrag van Bern); Wetland convention, 2 May 1984 (Conventie van Ramsar); Biosphere Reserve, 12 January 1987 (UNESCO's Man and Biosphere Programme).

In dit verhaal zal worden nagegaan welke de gevolgen zullen zijn van een lokale bodemdaling in het Waddengebied voor het vogelleven aldaar. Eerst kunnen we stellen dat de biologische gevolgen van een bodemdaling in een gebied als de Waddenzee gelijk zijn te stellen aan een zeespiegelrijzing van de zelfde omvang. Immers als de bodem plaatselijk daalt wordt de zee daar dieper. Door de enorme omvang van de wereldzeeën heeft een lokale bodemdaling geen merkbaar effect op het zeeoppervlak. Of het water nu hoger komt of dat de bodem plaatselijk daalt, in beide gevallen is het effect dat de afstand van het wateroppervlak tot de zeebodem en de grens tussen zee en land wordt beïnvloed. In een gebied met ondiep water zijn de gevolgen van een bodemdaling of zeespiegelrijzing veel duidelijker merkbaar dan op open zee.

Het begrip zeespiegel is in de Waddenzee tamelijk abstract in vergelijking met het wateroppervlak in een vijver. In de Waddenzee fluctueert de waterspiegel voortdurend. Dit komt voornamelijk door de invloeden van het getij en de wind. De fluctuatie van het water-niveau door het getij bedraagt gemiddeld zo'n 18 dm (West-Terschelling) tot 30 dm (Delfzijl). Bijna twee maal daags heeft het water een hoge stand en ruim 6 uur later bereikt het dan weer een lage stand. Men spreekt dan van hoogwater en laagwater. Er is ook sprake van een dagelijkse ongelijkheid, daarmee wordt bedoeld dat op eenzelfde dag de beide hoog- en laagwaterstanden meestal niet gelijk zijn.

Voorts is er nog sprake van springtij en doortij. Ongeveer twee dagen na volle- en na nieuwe maan, dus twee maal per maand, is het springtij en kan het amplitudo oplopen van 25 dm (West-Terschelling) tot 38 dm (Delfzijl). Ongeveer 7 dagen later is er sprake van doortij, dan wordt het hoge water lager dan gemiddeld en het lage water hoger dan gemiddeld.

De op grond van astronomische gegevens op

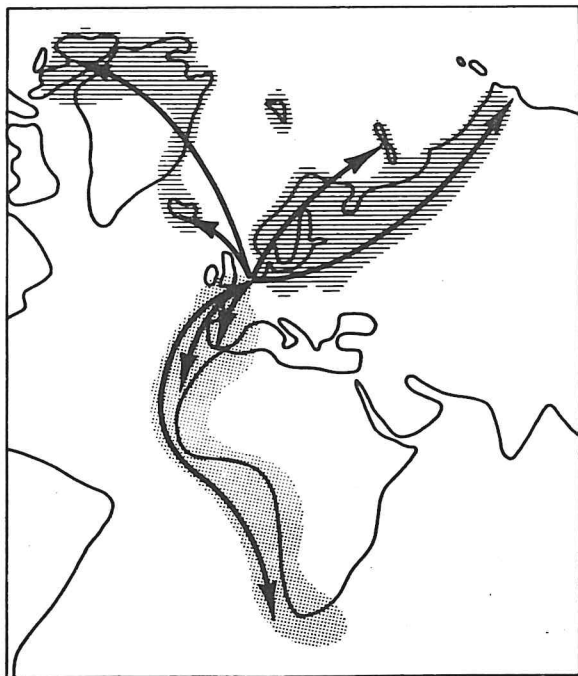


Fig. 1. Herkomst en verblijfgebied van de Nederlandse wadvogels. Broedgebieden zijn gearceerd, overwinteringsgebieden zijn gestippeld. (Bron: Swennen, C. Wadden Seas are rare, hospitable and productive. In: Proc. Int. Conf. on the conservation of wetlands and waterfowl, Heiligenhafen, December 1974: 184-198. IWRB, Slimbridge).

Waddenzee hoog- en laagwaters

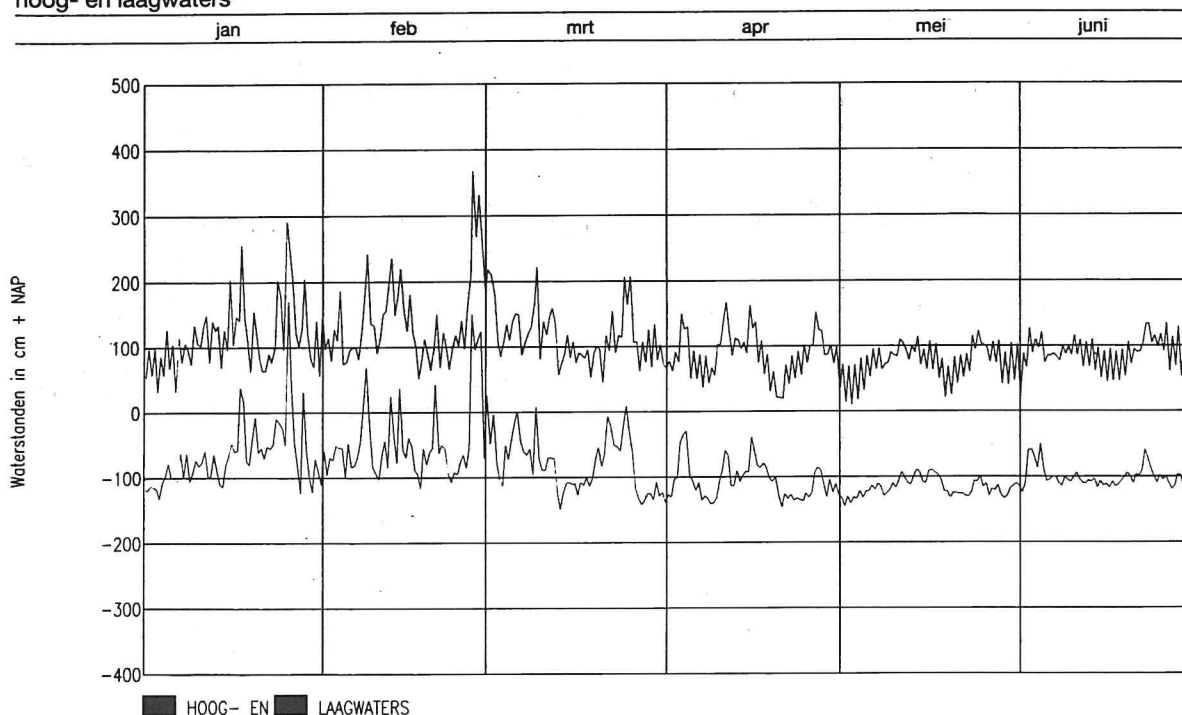


Fig. 2. Gemeten waterstanden in de Waddenzee in de eerste helft van 1990 als voorbeeld van verstoringen van de astronomische getij cyclus onder invloed van het weer. In de maanden april-juni is het regelmatige verloop met spring- en doodtij duidelijk te zien, terwijl in januari-maart het patroon ernstig was verstoord en er onregelmatig (door de wind) veel hogere waterstanden optraden. Bron: Ministerie van verkeer en waterstaat. Jaarboek van afvoeren, waterstanden, golven en waterkwaliteit 1990. Den Haag, 1992.

lange termijn voorspelbare waterhoogten, zoals we die kunnen vinden in de 'Getijtafels voor Nederland' worden beïnvloed door veel minder voorspelbare factoren als atmosferische omstandigheden zoals luchtdruk en wind. Vooral door de invloed van de wind komen er regelmatig afwijkingen van de voorspelde waterstanden voor van vele dm en soms wel meer. Dit treedt in de winter veel frequenter op dan in de zomer (Fig. 2). Door dit alles fluctueert het waterniveau in de Waddenzee dus sterk en niet geheel regelmatig.

Een van de belangrijkste kenmerken van het gebied is dat het zo ondiep is dat door het getij tweemaal daags ongeveer de helft van de zeebodem droogvalt. Verschillende vogelsoorten hebben zich aan de sterke wisselingen van het waterniveau in gebieden als de Waddenzee aangepast en zijn door hun specialisme voor hun voortbestaan zelfs op dergelijke omstandigheden aangewezen. In het Nederlands worden deze soorten doorgaans aangeduid als kust en wadvogels.

Om de gevolgen van een locale bodemdaling = zeespiegelrijzing voor deze vogelsoorten na te gaan, dient men de functie van het gebied voor de vogels te

weten. De Waddenzee is voor de wadvogels in de eerste plaats hun voedselbron. Naast deze alledaagse essentiële functie, is de Waddenzee voor een aantal soorten tevens hun broedgebied. Deze functie is eveneens essentieel voor het voortbestaan van de betreffende vogelpopulaties, maar is beperkt tot een bepaalde periode van het jaar. Andere functies zoals rustplaats, opgroeigebied, en ruigplaats zijn eveneens zeer belangrijk, maar zijn voor onze discussie secundair.

DE FOERAGEERFUNCTIE VAN DE WADDENZEE

Voor de foerageerfunctie zijn twee factoren van groot belang: 1. De tijd en kosten die gemaakt moeten worden om het dagelijkse rantsoen te verkrijgen. 2. Het aanbod aan voedsel. Eerst zal het foerageren worden bekeken en daarna het voedselaanbod.

Bijna alle vogels in de Waddenzee zijn carnivoor. Dat is geen wonder want grote planten zijn in dergelijke gebieden schaars en de talrijke eencellige planten zijn te klein om door vogels te worden gepakt. De carnivore vogels richten zich op twee typen van prooidieren, namelijk vrij zwemmende — of pelagische

dieren — (vele vissoorten, inktvissen, zwemmende borstelwormen en kreeftachtigen) en bodembewonende — of benthische — soorten (schelpdieren, kreeftachtigen en wormen). De verschillende vogelsoorten zijn min of meer gespecialiseerd op bepaalde prooitypen en zoeken en bemachtigen hun voedsel dan ook op verschillende manieren.

Een beperkt aantal soorten vangt pelagische (vrijzwemmende) prooien. Deze vogels doen dat stootduikend vanuit de lucht (o. a. sterns) of via een onderwater-achtervolging (o.a. futen). Deze jachtmethoden worden niet beïnvloed door de waterdiepte en kunnen in deze discussie dan ook verder buiten beschouwing blijven.

De op of in de bodem levende (benthische) prooi-soorten worden opgedoken of tijdens laagwater lopend of wadend over de zeebodem opgepikt.

Bij het opduiken geldt dat hoe dieper het water is hoe meer energie de duikende vogels moeten spenderen om aan voedsel te komen. Het is bekend dat daarbij al naar gelang de soort een toename van diepte in decimeters en meters een meetbaar effect veroorzaakt.

De vogels die hun voedsel lopend en wadend opsporen en bemachtigen vormen de talrijkste groep. Het zijn vooral de vele soorten steltlopers, een deel van de meeuwen, de bergeenden, en enkele andere eenden, die op deze wijze hun voedsel op de tijdens laagwater droogvallende zeebodem moeten vergaren. Deze vogels rusten tijdens hoogwater in dichte groepen langs de kant en verspreiden zich als het water valt over de wadplaten om er te foerageren.

De laagwaterperiode wordt door deze lopend foeragerende soorten aan een aantal gedragingen besteed. Als het water valt begint het al met de vlucht van de hoogwaterrustplaats naar de wadplaat, en soms naar de volgende en daarop volgende en bij het opkomende water weer terug. De totale vluchtduur bedraagt enkele tot enkele - tientallen minuten. De meeste tijd wordt natuurlijk gestoken in het opsporen van geschikte prooidieren. Het vangen en inslikken, soms ook nog het schoonmaken van de prooien kost met elkaar ook nog veel tijd. Verder is er tijd nodig voor poetsen en baden. Het in orde houden van het verenkleed is van levensbelang. Het verenkleed dient voornamelijk als warmte isolatie. Een deel van de tijd wordt ook gestoken in rusten. Maar vaak is dit meer schijn dan werkelijkheid, want bij een aantal vogels moeten de harde prooien (schelpen, schubben, gratten en pantsers) in de spiermaag worden bewerkt voor het voedsel de darm kan passeren. Tijdens zo'n ogenschijnlijk rust zijn ze dus inwendig noodzakelijkerwijs wel druk bezig. Een andere merkwaardigheid is dat een wisselende hoeveelheid tijd besteed wordt aan onderlinge kibbelarijen. Hoe schaarser het voedsel hoe meer ze elkaar verjagen of dreigen. Ogen-schijnlijk is dit zinloos, maar voor een gezonde populatie is het van levensbelang dat de sterksten de beste keuze kunnen maken. Door al dit gekibbel komt

er uiteindelijk een hiërarchische verdeling van de potentiële foerageergebieden tot stand. Dan zijn er altijd wel tijdrovende verstoringen of panieken veroorzaakt door een vliegtuig, helicopter, explosie, militaire oefening, pierenspitter, vakantieganger, langstrek-kende roofvogel, ander dier, hagelbui of donderslag.

Voor het verkrijgen van het benodigde dagrantsoen blijkt in de praktijk één laagwater periode meestal onvoldoende tijd te bieden. De wadvogels beschikken echter over een aantal gedragingen om dit tekort aan tijd te compenseren. De eerste is door in het donker ook het tweede lage tij te benutten. Het ritme van wadvogels wordt dus niet bepaald door de dag-nacht-cyclus maar door de getij cyclus. Ook voor de gevallen dat het water door de wind is opgestuwd en het wad dus korter dan normaal droogvalt zijn er enkele mogelijkheden tot compensatie. Als door aanhoudende sterke wind een hele serie laagwaterperioden niet of slechts kort voor het foerageren kunnen worden benut, blijken de vogels echter zodanig verzwakt dat er bij een extra stress verhoogde sterfte optreedt.

Een verlaging van de zeebodem betekent een verkorting van de periode van droogvallen, dus een permanente verkorting van de voor het foerageren beschikbare tijd (Fig. 3). Een verschil van één of enkele dm is hier van belang, verschillen van één of enkele cm hebben een verwaarloosbaar kleine invloed. Een bodemdaling van 10 cm verkort bij Harlingen de droogvaltijd van een wadplaat met een half uur. Dit is een kleine 10% van de droogvaltijd van een wadplaat ter hoogte van de gemiddelde zeestand. Richting Vlieland en Den Helder is de amplitude van het getij geringer en daar zou dus de tijdsbeknotten-ging wat groter zijn, naar het oosten toe wordt de amplitude wat groter en daar is de verkorting wat kleiner. Bij een bodemdaling van ongeveer 1 cm is de hoeveelheid foerageertijd die verloren gaat slechts 3 minuten, of hoogstens 1% van de voormalige potentiële foerageertijd.

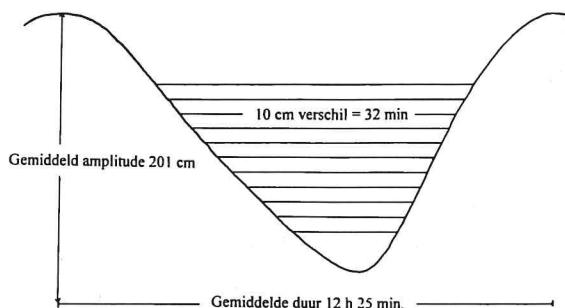


Fig. 3. Gemiddelde getijkromme bij Harlingen (bron: Getijtjafels voor Nederland 1993. SDU Den Haag 1992). De parallelle horizontale lijnen zijn te beschouwen als droogvallende wadplaten met een onderling verschil in hoogte van 10 cm. Hoe lager een plaat ligt hoe korter deze tijdens laagwater droog valt.

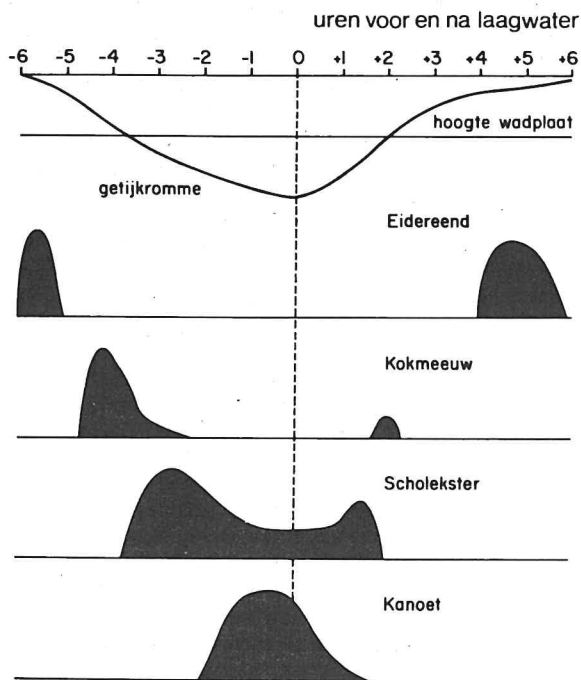


Fig. 4. De foerageeractiviteiten van enkele vogelsoorten op eenzelfde wadplaat in de loop van een getijcyclus. (Bron: C. Swennen. De vogels langs onze kust, Fig. 6. In: W.J. Wolff e.a. Wadden-duinen-delta. Biologische Raad Reeks, Pudoc, Wageningen 1982: 78-100).

Als men de exploitatie van een wadplaat door vogels gaat bekijken dan lijkt het in eerste instantie een betrekkelijk simpel systeem: een zandig tot modderig sediment met een aantal vogels op zoek naar een beperkt aantal soorten prooidieren, die zich op de bodem ophouden of ondiep ingegraven zitten. De vogels blijken echter zowel in gedrag als wat betreft hun morfologie grote verschillen in het foerageren te vertonen. Mogelijk is dit geëvolueerd om directe concurrentie te vermijden. In het algemeen komen tijdens vallend water verschillende vogelsoorten na elkaar op een droogvallende plaat foerageren. Soms komen er nog water op staat, andere als het water bijna weg is en weer anderen als de plaat echt droog ligt. Bij opkomend water ziet men vaak een spiegelbeeld (Fig. 4). Ieder moment verandert het aantal vogels dat op een plaat foerageert. Om een maat te krijgen voor het relatieve belang van een bepaalde wadplaat voor vogels kan via frequente tellingen over gehele getijperiodes het aantal vogeluren (=aantal vogels x tijd dat ze er verblijven) per tij worden vastgesteld. Het blijkt dat platen die zeer hoog in de getijzone zijn gelegen alsmede platen die zeer laag zijn gelegen veel minder vogeluren krijgen dan platen rond de gemiddelde zeestand. Ook hierbij gedragen de soorten zich in dit opzicht wat verschillend. De totale predatie druk op een wadplaat hangt

af van de voedselbehoefte van de vogels. Dit hangt niet alleen af van het aantal vogels maar ook van hun formaat en van verschillende andere factoren, b.v. of ze al dan niet kort daarna een lange reis moeten maken of eieren moeten leggen.

Een grote soort eet meer dan een kleine soort. Via het gemiddelde gewicht van de vogelsoorten kan met behulp van de vogeluren per soort de totale vogelbiomassa per laagwaterperiode worden berekend. In de praktijk blijkt dat er tussen wadplaten aanzienlijke verschillen in voedselaanbod kunnen zijn. De biomassa van de foeragerende vogels per tij (als maat voor de predatiedruk van de vogels) is in de Waddenzee sterk gecorreleerd met de totale biomassa van de benthische fauna (Fig. 5). De gevonden verhouding is geen vast gegeven. De verhoudingen variëren in de loop van het jaar zowel door veranderingen in de biomassa prooidieren als door aankomst en vertrek van vogels. In sommige andere wadgebieden blijkt de totale biomassa van alle waddieren vaak geen verband te houden met de biomassa van de vogels die er foerageren. Dit komt vooral voor in gebieden waar een belangrijk deel van de benthische biomassa bestaat uit voor vogels oneetbare of niet te verwerken dieren (b.v. koralen). In dergelijke gevallen moet per vogelsoort de biomassa van hun specifieke prooi-soort worden vastgesteld.

De gevonden correlatie betekent dat een lokale verarming van de benthische fauna onmiddellijk zijn weerslag heeft op het aantal vogels dat van een wadplaat gebruik kan maken. Bij veel voedsel kunnen er veel vogels aan de kost komen, en als er weinig voedsel is kunnen er weinig vogels leven. Het is echter moeilijk hiervoor een algemene maat te geven. Het verschilt per vogelsoort. Behalve de foerageertijd is dus ook het voedselaanbod van vitaal belang. Er kunnen drie belangrijke gevolgen van een extra bodemdaling op het voedselaanbod worden aangegeven.

A. Een verschuiving in de zonering van de prooidieren.

Doordat veel, aanzienlijke, verlagingen langs de kust optreden zouden de voedselbronnen hoog in de getijzone ernstig kunnen worden verarmd. Dit geldt voor de opgroei van de jongen van de Kluut, Tureluur, Scholekster en Bergeend, en voor volwassen vogels als Bonte Strandloper, Tureluur, Kluut en Bergeend. De door deze vogels in de hoge zone geconsumeerde prooien bereiken hun hoogste dichtheden in slikkige sedimenten. Daar de verwachte versnelde sedimentatie in de eerste plaats uit zand zal bestaan, kan door een verschuiving in de slik/zand verhouding ook nog een belangrijke voedselverarming voor deze soorten optreden.

B. Een afname van het oppervlak aan foerageergronden.

Het voedselaanbod op de platen beperkt zich hoofdzakelijk tot de stabiele delen van die platen. De randen zijn doorgaans instabiel en voedselarm. De verwachting is dat de plaatomvang door bodemdaling zal worden verkleind. De afname van het voedselaanbod zal groter zijn dan de procentuele afname van de plaatgrootte, doordat bij kleinere platen de hoeveelheid rand relatief groter is dan bij grotere platen.

C. Verarming van de wadfauna door erosie.

Het compenserende sedimenttransport kan oppervlakkige erosie van platen in het betreffende kombergingsgebied veroorzaken, zowel binnen als buiten het dalende deel. Als er regelmatig erosie plaats vindt, dan kan er zich nauwelijks jongbroed van schelpdieren en andere voedseldieren vestigen. Voor de vogels is er dan dus geruime tijd niets te halen. Terwijl er bij een geringe sedimentatie vaak veel betere vestigingskansen voor benthische waddieren voorkomen.

HET WADDENGEBIED ALS BROEDPLAATS VOOR VOGELS

Voor de vogels die nestelen in de duinen of achter de dijken treedt geen waardeverandering van de broedplaats op door een geringe bodemdaling. Voor een aantal vogelsoorten vormen echter kwelders en stranden hun specifieke broedterrein. Deze gebieden bieden het voordeel dat er (buiten de mens) weinig of geen predatoren komen. Holen worden immers door extreem hoog water regelmatig geïnundeerd, zodat daar een permanente vestiging van kleine roofdieren en ratten onmogelijk is. Hierdoor kunnen veel grotere dichtheden van nesten voorkomen (kolonievorming) dan in het binnenland op de grond doorgaans mogelijk is. Een tweede voordeel is dat zij doorgaans het dichtst bij de voedselgronden zijn gelegen. De verschillende langs de waddenkust broedende vogelsoorten stellen eisen aan hun nestplaats die per soort iets verschillen. Kluten, plevieren en sterns zijn voor hun voortplanting van nature het meest op deze buitendijkse gronden aangewezen. Hun nestplaats vormt een compromis tussen veiligheid tegen predatoren en veiligheid tegen overstromingen. Ze gaan zo hoog broeden dat hun nesten tijdens de minder frequente en doorgaans minder sterke zomerstormen de grootste kans hebben om net niet onder te lopen, en toch weer zo ver van het hogere achterland dat roofdieren er minder gemakkelijk komen. Vaak zijn de hogere, oude richels langs de geulen op een kwelder het veiligst. Door onze herhaalde inpolderingen zijn hoge kwelders in het waddengebied thans schaars en door de toegenomen mobiliteit is ook de rust op de meeste hoge strandgedeelten verdwenen. Een en ander maakt de resterende veilige gedeelten waardevoller. Een deel ervan wordt beheerd als beschermd natuurgebied.

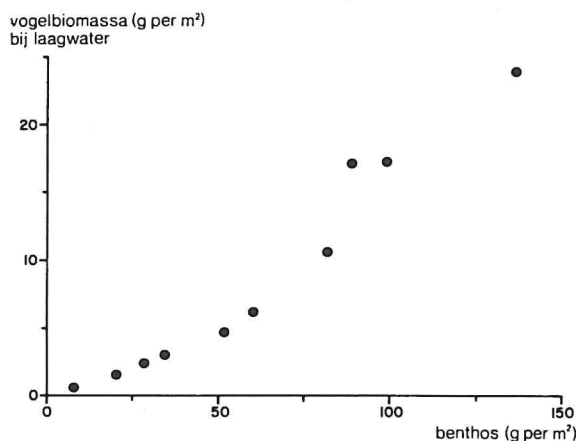


Fig. 5. Relatie tussen de aanwezige biomassa bodemdieren (benthos) uitgedrukt in droge organische stof en de biomassa van de hierop foeragerende vogels uitgedrukt in versgewicht per tij. (Bron: C. Swennen. De vogels langs onze kust, Fig. 4. In: W.J. Wolff e.a. Wadden-duinen-delta. Biologische Raad Reeks, Pudoc, Wageningen 1982: 78-100).

Inundatie is een belangrijke factor in het mislukken van de broedsels in deze buitendijkse gebieden. In uitzonderlijke jaren valt hierdoor de reproductie zelfs wel eens geheel uit. Een verlaging van de buitendijkse gronden verhoogt de frequentie van inundatie van de broedplaatsen en maakt daarmee een gemiddeld voldoende reproductie om de jaarlijkse natuurlijke sterfte van deze vogels te compenseren onmogelijk. Waarnemingen duiden erop dat de vogels bij een onder windinvloeden verhoogd tij op hun eieren blijven zitten tot het nest wordt overstroomd. Het broedsucces is soms dus afhankelijk van verschillen in waterhoogte van één of enkele cm. Een lokale vogelpopulatie waarvan aanwas over langere termijn geringer is dan de sterfte, zal na enige tijd verdwijnen. Ten behoeve van de vogelstand kan dit door een locale verhoging van een terrein op relatief eenvoudige wijze worden verholpen. Dit is bewezen door de broedsuccessen na de ophogingen van het eilandje Griend en op de kleine kunstmatige schorren langs het Balgzand en Wieringen. Deze laatste gebiedjes werden aangelegd als compensatie voor het verloren gaan van broedterrein door de dijkverhogingen in het kader van de Deltawet. Na oplevering werden deze gebieden onmiddellijk door de vogels als broedplaats in gebruik genomen en door hun verhoogde veiligheid tegen inundatie gedurende de broedtijd bleek hun broedsucces zelfs beter dan in de omliggende natuurlijke gebieden. Het totale broedbestand nam daardoor toe. Dit is een teken dat door inpolderingen en groter bezoek de mogelijkheden tot broeden al zodanig zijn verarmd dat het door voedsel en andere omstandigheden bereikbare potentiële populatie niveau niet meer kan worden bereikt.

SAMENVATTING, CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Bodemdaling heeft hetzelfde effect als zeespiegelrijzing, nl. dat de afstand van het wateroppervlak tot de bodem wordt vergroot, en dat de grens tussen water en land in landwaartse richting verschuift. Voor de vogels heeft dit gevolgen voor de voedselconsumptie en op het voortplantingssucces.

Dat de extra bodemdaling tengevolge van gaswinning door natuurlijke processen weer teniet zal worden gedaan betekent helemaal niet dat de biologische waarden, met name de vogelstand van een extra bodemdaling dus geen schade zal ondervinden. Hiertoe dient men te letten op de tijdschaal. Geologen rekenen op een herstel binnen ongeveer 100 jaar, terwijl een individuele vogel hoogstens een paar dagen zonder eten kan en een vogelpopulatie hoogstens een paar jaar een sterk verminderd voortplantingssucces kan overleven.

Als we de directe gevolgen op het voedselzoeken nagaan dan zijn er twee groepen van vogels die schade zouden kunnen ondervinden.

- A. De vogels die benthische prooien duikend bemachtigen moeten meer energie besteden om hun voedsel op te duiken. De extra kosten bij de verwachte bodemdaling zijn echter gering en vallen volkomen in het niet bij de huidige schade toegebracht door de schelpdiervisserij en de verwachte extra schade bij een uitbreiding van de mosselpercelen zonder een meer dan evenredige verbetering van de visserijmethodiek.
- B. De vogels die benthische prooien tijdens laagwater in de getijzone zoeken worden beperkt in hun zoektijd. Bij een daling van 10 cm is dit al 10% van hun potentiële foerageertijd (gemiddeld 5 uur per tij). Een dergelijk verlies is onaanvaardbaar, maar door de versnelde sedimentatie zoals vermeld in het rapport van Oost en Dijkema met een werkelijke verlaging van het oppervlak van maximaal 3 cm gerekend. Als dit zo is dan moet worden betwijfeld of de gevolgen van de verkorting van de gemiddelde foerageerduur meetbaar zal zijn.

Er kunnen voorts drie belangrijke gevolgen op het voedselaanbod worden aangewezen.

- A. Een verschuiving in de zonering van de prooidieren en een verzanding in de hogere thans slikkige zones. Dit is vooral langs de kust van belang. De lager in de getijzone levende dieren bewonen een veel bredere strook van het intergetijdengebied. De prognoses zijn niet gedetailleerd genoeg om de omvang van eventuele schade vast te stellen.

- B. Een afname van het oppervlak aan foerageergronden.

De verwachting is dat de plaatomvang door bodemdaling zal worden verkleind. De afname van het voedselaanbod zal groter zijn dan de procentuele afname van de plaatgrootte, doordat bij kleinere platen de hoeveelheid rand relatief groter is dan bij grotere platen. De verwachte afname is in de orde van grootte van hoogstens 1%, dit is te klein om een in het veld aantoonbaar effect op het voedsel aanbod te veroorzaken.

- C. Het optreden van erosie aan het plaatoppervlak.

Het compenserende sedimenttransport kan oppervlakkige erosie van platen in het betreffende kombergingsgebied veroorzaken, zowel binnen als buiten het dalende gebied. Erosie veroorzaakt een sterke vermindering van de vestigingskansen van jonge zeedieren. Dit betekent een ernstige verarming van het voedselaanbod. De gevolgen daarvan voor de vogels zijn afhankelijk van het oppervlak dat wordt aangetast. Het antwoord op de vraag of erosie door bodemdaling alleen langs de randen optreedt of dat het gehele plaatoppervlak beslaat, en of het beperkt blijft of dat alle platen in een kombergingsgebied aan erosie kunnen blootstaan is nog niet eenduidig.

CONCLUSIE:

1. Over het mogelijk optreden van verzanding en van erosie is onvoldoende bekend. Mocht dit één van de gevolgen van gaswinning zijn dan heeft dit invloed op de benthische fauna en dit zal dan ernstige gevolgen hebben op de vogelstand. De invloeden van een bodemdaling op zowel de foerageertijdbeperking als de afname van het plaatoppervlak duiden allemaal op een kleine verslechtering van de omstandigheden. Ieder voor zich in de praktijk waarschijnlijk niet goed aantoonbaar. Wel moet daarbij bedacht worden dat zij cumulatief in negatieve richting werkzaam zijn. Compenserende maatregelen zouden kunnen bestaan uit een suppletie van zowel fijn zand als slib. In enkele voorstellen is tot dusverre alleen sprake van suppletie van (grof) zand uit de Noordzee.
2. Een daling van 1 cm van kwelders en stranden zal het reproductiesucces van de broedvogels verlagen. Door het aanbrengen van locale verhogingen in het terrein kan dit op kunstmatige wijze worden verholpen en zou ook schade door vroegere inpolderingen kunnen worden gecompenseerd.

GASWINNING IN DE WADDENZEE: SCHADELIJK VOOR MENS EN NATUUR!

IR. E.C. SMITH

Landelijke Vereniging tot Behoud van de Waddenzee

1. INLEIDING

Mijn positie op deze discussiedag is een wezenlijk andere dan die van de andere sprekers. De bijdragen van de kant van overheid, concessionarissen en wetenschap belichten ieder een deelaspect van het thema bodemdaling. De Waddenvereniging vindt daarentegen dat alle aspecten geïntegreerd moeten worden bekeken, niet alleen ten aanzien van bodemdaling, maar ten aanzien van alle gevolgen van gaswinning.

Mijn positie is voorts anders omdat ik — in tegenstelling tot andere sprekers — geen toegang heb gehad tot alle beschikbare informatie over het onderwerp.

2. GEVOLGEN VAN GASWINNING OP EEN RIJ

Bij het beoordelen van de negatieve gevolgen, waarvan ik hierna een opsomming zal geven, dienen de cumulatieve effecten beschouwd te worden. Steeds moet allereerst per negatief effect de vraag worden gesteld of er reeds vergelijkbare negatieve effecten optreden of worden verwacht en wat de som van die effecten betekent. Hierbij is het van het grootste belang dat voor zover effecten slechts met een onzekerheidsmarge kunnen worden voorspeld de mogelijke bandbreedte van de voorspelling wordt vastgesteld.

Op deze wijze kan een juiste indruk verkregen worden wat een ongunstig scenario betekent voor het gebied en in het bijzonder voor de natuur in het gebied.

- Risico's van verspreiding van schadelijke stoffen
Het gaat om twee categorieën schadelijke stoffen: stoffen, die als hulpmiddel worden gebruikt bij het boorproces (bijv. boorspoeling) en daarnaast stoffen die vrij komen als resultaat van het boorproces (bijv. gas, condensaat). Beide categorieën stoffen kunnen in het waddenmilieu terecht komen als gevolg van een lozing of als gevolg van een calamiteit.

Om die risico's verantwoord te kunnen inschatten dient er een volwaardige risico-analyse gemaakt te worden waarbij de beschikbare wereldwijde calamiteiten-statistieken gebruikt moeten worden.

- Verstoring van de natuur ten gevolge van inrichtings- en exploitatie-activiteiten

- Tijdelijke en blijvende verstoring van de bodem ten gevolge van de aanleg van leidingen, platforms, kunstmatige eilanden etc.

- Schade aan het landschap en de belevingswaarde van de Waddenzee

- Bodemdaling

Bodemdaling, het feitelijke onderwerp van vandaag, veroorzaakt o.a. een verstoring van de sedimentbalans in het waddengebied, resulterend in extra kustafslag en/of een blijvende bodemdaling.

- Minder energiebesparing

Tot nu toe heb ik alleen nadelen opgesomd. Economisch zou gaswinning zeer voordelig zijn. Is dat zo?? Mijns inziens niet. Omdat voor de kleine velden per m³ een lagere afdracht aan de staat verschuldigd is, vergeleken met de afdracht die de NAM betaalt voor het Slochteren-veld, geeft het Ministerie van Economische Zaken een kunstmatige injectie aan de bedrijfstak die zich met gaswinning bezig houdt. Dit heeft een tijdelijk gunstig effect op de werkgelegenheid, omzet en winst in die bedrijfstak. Voor de nationale economie is het echter rendabeler om eerst het Slochteren-veld verder uit te baten en de extra afdrachten, die dit voor de staat oplevert, te besteden aan energiebesparings-maatregelen. Daarmee snijdt het mes aan twee kanten. De behoefte aan energie wordt dan lager. Energiebesparing vermindert tegelijkertijd het broeikaseffect en daarmee de zeespiegelrijzing.

Geen winning in de Waddenzee betekent zo zowel minder relatieve zeespiegelrijzing ten gevolge van bodemdaling als minder absolute rijzing ten gevolge van verkleining van het broeikaseffect.

3. BODEMDALING EN DE BETEKENIS VOOR HET WADDENGEBIED

- de plaats van bodemdaling in het morfologisch systeem

Bodemdaling betekent relatieve zeespiegelstijging en die stijging leidt weer tot vergroting van de zandbe-

hoeft van het wadden-gebied. Voor een bepaling van de effecten is het bodemdalings-volume belangrijker dan de verticale daling.

Het zand waarmee de zandbehoefte wordt gedekt, is afkomstig van de Noordzeekust. Het extra gevraagde zand wordt geleverd door de eilanden, de voordelta's en de vooroever van de kust. De afgelopen jaren was er in het waddegebied kustafslag in de centrale delen van Terschelling en Ameland en op Rottumeroog. Indien de drie potentiële 'bronnen' (eilanden, voordelta's en vooroever) alle worden beschermd door de mens zal de diepte in de Waddenzee toenemen.

Oostelijk van het wantij van Terschelling bedraagt de zandvraag nu ca. 4 miljoen m³ per jaar. Uitgaande van cijfers van Rijkswaterstaat kan dit oplopen tot ca. 9 miljoen m³ per jaar bij de verwachte versnelling van de zeespiegelrijzing.

Door de huidige en mogelijk toekomstige gaswinning zal de zandvraag met ca. 5 miljoen m³ per jaar extra toenemen. Verder verdient opmerking dat de lokatie van een (blijvende) bodemdaling niet samen hoeft te vallen met het gasveld. Dit wordt door de morfologie bepaald.

Rijkswaterstaat heeft in de Nota Kustverdediging verschillende scenario's opgesteld over de mate waarin de zeespiegel zal stijgen. Het verschil tussen het 'verwachte' scenario (60 cm per eeuw) en het 'ongunstige' scenario (85 cm per eeuw) is 25 cm.

Bodemdaling ten gevolge van gaswinning in het waddegebied kan van dezelfde orde van grootte zijn.

Hierbij is van belang dat in de beginfase van de relatieve zeespiegelrijzing ten gevolge van bodemdaling er altijd verdieping zal optreden door de traagheid waarmee het morfologisch systeem zich aanpast. Rijkswaterstaat heeft berekend dat dit effect bij de verwachte toename van de zeespiegelrijzing ca 22 cm is in het Vlieggebied.

In ieder geval vergroot bodemdaling ten gevolge van gaswinning in het Waddegebied, in combinatie met de 'algemene' versnelde zeespiegelrijzing, de kans dat de mens moet ingrijpen in het systeem van de Waddenzee.

De noodzaak van ingrijpen wordt bepaald door de werkelijke omvang van de zeespiegelrijzing en van de bodemdaling.

• de rekening

Om een inzicht in de kosten van eventueel noodzakelijk ingrijpen te krijgen is de aanname dat het tekort aan zand aangevuld moet worden een goed uitgangspunt. Extra zand kan alleen worden aangevoerd vanaf de Noordzee uit gebieden buiten de kustzone. Afgezien van de ecologische schade die daardoor optreedt kost dat minimaal fl 10,- per m³.

Globaal kan uitgerekend worden wat het buitendijkse bodemdalings-volume is en wat de extra kos-

ten van kustverdediging zijn ten gevolge van de bodemdaling door gaswinning bovenop de kosten ten gevolge van het broeikas-effect, uitgaande van het huidige kustverdedigingsbeleid.

gasveld	basis	bodemdalings volume (m ³)	kosten (gulden)
Slochteren	1985	40 miljoen	400 miljoen
Slochteren	1990	40 miljoen	400 miljoen
Slochteren	ook na 2015	60 miljoen	600 miljoen
Ameland	1985	30 miljoen	300 miljoen
Zuidwal	Rapport WL	12 miljoen	120 miljoen

De tabel geeft de resultaten. Voor het Slochterenveld zijn twee voorspellingen van de NAM uitgewerkt en is een nieuwe voorspelling aangegeven op basis van verhoogde produktie en produktie na 2015.

Samenvattend kan gesteld worden dat er een onbetaalde rekening is ten gevolge van de reeds in exploitatie genomen velden van ca. 1 miljard gulden. Duidelijk is dat tot nu toe de Minister van Verkeer en Waterstaat heeft zitten slapen.

Eenzelfde berekening is te maken voor winning uit nieuwe velden in de Waddenzee. Uitgaande van een bodemdaling van 15 cm in het gehele oostelijke waddegebied praten we over een extra zandvraag van 200 miljoen m³. Dit brengt potentieel ca. 2 miljard gulden aan extra kosten met zich mee.

In ieder geval zal met name de natuur de rekening gepresenteerd krijgen. Of omdat afdoende beschermende maatregelen uitblijven of omdat die beschermende maatregelen op zichzelf weer ongewenste ingrepen in de natuur betekenen.

• onzekerheden in de mate van bodemdaling
Voorspellingen omtrent bodemdaling (verticaal) en bodemdalingsvolume bevatten onzekerheden. Ekofisk is daarvan een spectaculair voorbeeld. Ook voorspellingen ten aanzien van de velden bij Slochteren en Ameland zijn regelmatig gewijzigd.

Een groot aantal factoren speelt een rol bij de mate waarin een voorspelling van het volume betrouwbaar is.

1. Omvang, betrouwbaarheid en beschikbaarheid van onderzoeksgegevens. Hier speelt een grote rol dat de betreffende informatie slechts in handen is van de bedrijfstak en het Ministerie van Economische Zaken. De direct-belanghebbenden bepalen zo zelf zonder onafhankelijke controle de randvoorwaarden voor anderen die op hun terrein gevraagd worden een oordeel uit te spreken over de gevolgen van de gaswinning. Dat hebben we ook vandaag kunnen constateren. Dat is gezien de enorme belangen onacceptabel.

2. Soort, dikte en zettingsgevoeligheid van het gas-

houdende gesteente. Ten aanzien van Slochteren is wat dit betreft inmiddels veel bekend. Het veld is echter inmiddels vele keren opgewaardeerd, de laatste maal in 1991 met ca. 20%. Helaas is buitendijks bij Slochteren slechts één diepe meetput aanwezig (totaal 11 diepe en 14 ondiepe aanwezig) waardoor de prognoses voor het buitendijkse gebied veel slechter zijn onderbouwd.

3. De oppervlakte van het gasveld.

4. Invloed technische en commerciële aspecten op de winning.

Hierover wil ik benadrukken dat de commercie zeer sterk afhankelijk is van de mondiale energiemarkt en het politieke beleid ten aanzien van onder meer belastingvoordelen bij investeringen en de hoogte van de afdrachten aan de staat. Een ander beleid kan een enorme invloed hebben. Het 'kleine-velden'-beleid is slechts levensvatbaar door de lagere afdracht aan de staat.

5. Drukdaling in het gesteente.

6. Mate en omvang van drukkalingen in het aangrenzend watervoerend pakket. Ook voor Slochteren is dit nog een onzekere factor.

Voor Slochteren zijn hypothesen opgesteld over de afgrenzing door breuken in de ondergrond. Deze zijn echter nog niet bevestigd door voldoende metingen. Verificatie is een probleem omdat de verspreiding van de drukkalingen slechts zeer langzaam gaat. De betreffende grondwaterlaag strekt zich ten noorden van het veld uit tot ver onder de Waddenzee. De NAM gaat er van uit dat de doorlatendheid van die laag naar het noorden afneemt en de drukverlaging zich weinig verspreidt. Of dat klopt is echter nog de vraag.

7. Kruip van het gesteente. Met betrekking tot het Slochteren-veld stelt de NAM zelf dat aanvullend onderzoek nodig is.

De conclusie is derhalve dat de betrouwbaarheid waarmee het uiteindelijke bodemdalingsvolume kan worden voorspeld beperkt is. Deskundigen die gevraagd worden effecten te bepalen ten gevolge van bodemdaling dienen die onzekerheden in hun analyses te verdisconteren. Ik heb vandaag begrepen dat dat niet is gebeurd.

• onzekerheden in de morfologie

Mede ten behoeve van de Nota Kustverdediging na 1990 is een dynamisch morfologisch model gemaakt voor de Nederlandse kustwateren. Volgens de nota is de betrouwbaarheid van het modelgedeelte voor het waddengebied het kleinste en het model moet bovendien als zeer beperkt voor de langere termijn worden beschouwd. Betrouwbaarheid is echter van groot belang om te kunnen inschatten wat de zandbehoefte is door de zeespiegelrijzing en de bodemdaling, uit welke bronnen in de behoefte wordt voorzien, of er überhaupt in voorzien kan worden, wat de mogelijkheden zijn om de problemen op te lossen, wat de kosten zijn enz.

Ook ten aanzien van de gecombineerde effecten van bodemdaling en zeespiegelrijzing geldt dat de voorspellingsmarges dienen te worden aangegeven opdat anderen die onzekerheden mee nemen in hun inschatting van de effecten op hun terrein.

4. GEVOLGEN BODEMDALING VOOR DE NATUUR

Wat zijn nu de mogelijke (negatieve) effecten voor het kust-ecosysteem ten gevolge van bodemdaling (in combinatie met zeespiegelrijzing)? Ik geef u een overzicht, met aantekening dat de mate waarin de genoemde effecten optreden sterk afhankelijk is van de morfologische gevolgen, van het al dan niet ingrijpen van de mens en de manier waarop wordt ingegrepen.

- Verdieping van de vooroever en daardoor verslechtering van de voedselsituatie voor zee-eenden.
- Kustafslag en daardoor verlies van waardevolle duingebieden.
- Verlaging, verkleining en verdwijning van platen en daardoor verlies van geschikte broedgebieden voor o.a. sterns
- verlies aan fourageertijd en/of fourageer-areaal voor vogels
- Maaiveldverlaging en meer golfwerking en daardoor wijziging in de bodemfauna
- Meer golfaanval en daardoor meer erosie van kwelderranden
- verlies aan ecologisch zeer waardevol slibrijk wad voor de kwelders
- Versnelde verplaatsing van de eilanden naar de vaste wal en daardoor afname van het areaal getijde-gebied
- Toenemend menselijk ingrijpen teneinde economische belangen veilig te stellen en daardoor afname van de natuurlijkheid van het gebied en kans op meer schade voor de natuur
- Toenemend menselijk ingrijpen om deelwaarden te behouden en daardoor lijdt het totaal van de natuur schade.

Teneinde te beoordelen of dit een belangrijke aantasting betekent van de natuurwaarden van het waddengebied, hanteert de Waddenvereniging een 4-tal criteria. Deze zijn o.a. gebaseerd op een grondige studie naar de aard en werking van de natuur in het waddengebied (zie Wad nu, wat later? - Zoest, J.G.A. van, m.m.v. K. Siderius, 1991).

AUTONOMIE

De mens heeft weliswaar de natuur van het waddengebied in een keurslijf gedwongen, via de dijken, ingrepen op de eilanden, zoals stuifdijken, strandhoofden, zandsuppleties, via de afsluiting van Zuider-

zee en Lauwerszee en via baggerwerken in de vaargeulen.

Toch kent de Waddenzee nog een grote mate van spontane ontwikkeling. De kracht van de natuur in dit gebied is deze nog overgebleven autonomie. De bodemdaling zal leiden tot menselijk ingrijpen, tot sturing van de natuurlijke processen. Dit betekent een sterke afname van deze waarde.

BIOREGIME

Zeespiegelrijzing is op zichzelf een onderdeel van het natuurlijke regime (= bioregime) van processen in het waddengebied. Zeespiegelrijzing heeft in de loop der eeuwen geresulteerd in de huidige barrière-eilanden, voordelta's en het intergetijdengebied. Echter, bij een (plotselinge) versterking van de relatieve zeespiegelrijzing door de gaswinning wordt in dit bioregime ingegrepen op een hoog schaalniveau, dat wil zeggen op een niveau dat de gevolgen zich over een grote oppervlakte en een langere periode voordoen. Daarmee is versterkte zeespiegelrijzing een ernstige verstoring van het bioregime, die op zichzelf weer vele nieuwe processen op een lager niveau (zandverplaatsing, aanslibbing, primaire voedselproductie etc.) tot gevolg kan hebben (zie: Perspectives in hierarchy and scale; O'Neill, R.V., 1989).

BIODIVERSITEIT

Naar verwachting zullen als gevolg van de bodemdaling lokaal soorten in de problemen komen. Het is mogelijk dat de omvang van populaties wordt verkleind, waardoor soorten die als gevolg van andere oorzaken het toch al moeilijk hebben nog grotere problemen krijgen. Dit is een reële bedreiging van soorten, bijv. sterns, die op het waddengebied aangewezen zijn.

BELEVINGSWAARDE

De industrialisatie van het gebied die de gaswinning met zich meebrengt zal, evenals de maatregelen ter compensatie van de bodemdaling, het landschap ernstig aantasten. De grote natuurbelevingswaarde van het gebied, die vooral gelegen is in de ongereptheid, de rust en de wijde horizon, zal hierdoor ernstig schade ondervinden.

Dit betekent een aantasting van het geestelijk welzijn van mensen. Dit zal bovendien de toeristische waarde van het gebied verminderen.

Kortom, de bodemdaling alleen al betekent een ernstige aantasting van de waarden van het natuurgebied Waddenzee.

CONCLUSIES

- Het is uitermate onverstandig om positief over de winning te beslissen, gezien de onzekerheid ten aanzien van de omvang van de negatieve effecten van de bodemdaling. Het is veel verstandiger om de kleine velden in het waddengebied te laten zitten en eerst Slochteren verder uit te baten. Dan worden twee vliegen in één klap geslagen. We hebben meer tijd om te bekijken hoe problematisch de zeespiegelrijzing wordt. Daarnaast houdt het rijk meer geld over aan de gaswinning dat kan worden geïnvesteerd in energiebesparing, waardoor de zeespiegelrijzing verminderd kan worden.
- De (potentiële) schade voor de natuur, en voor de mens die deze natuur nodig heeft, als gevolg van gaswinning is dermate groot, dat de hoofddoelstelling voor de Waddenzee ernstig wordt aangetast. Gaswinning in de Waddenzee kan daarom geen doorgang vinden.
- De Waddenzee moet het voordeel van de twijfel krijgen, door het grote aantal onzekerheden in de analyses.
- Er is te weinig aandacht voor het kostenaspect van de kustsuppletie, die noodzakelijk is door de bodemdaling. Het rijk moet niet bang zijn voor financiële claims van de gas-industrie maar snel haar eigen onbetaalde rekeningen indienen en innen. Het totaal aan economische factoren moet op objectieve wijze in beeld worden gebracht.
- Het toestaan door de politiek van gaswinning getuigt van een bijzonder kortzichtig beleid en dient aangemerkt te worden als het nemen van een onverantwoorde gok ten koste van de natuur en het milieu in het gebied, en ook ten koste van toekomstige generaties. Het zou met de woorden van een grote politieke partij getuigen van een misdadige opvatting van goed rentmeesterschap.
- Men kan zich met recht afvragen of het niet verlenen van het moratorium strookt met de hoofddoelstelling van de Planologische Kernbeslissing de Waddenzee, waarin een zo natuurlijk mogelijke ontwikkeling van waterbewegingen en hiermee gepaard gaande geomorfologische en bodemkundige processen een belangrijke beleidslijn is.

VERSLAG VAN DE DISCUSSIE (voorzitter H. Postma)

Er zijn vragen binnengekomen voor een aantal sprekers en er is een verzoek binnengekomen om nog een paar woorden tot ons te richten van het Comité Behoud Bergense Zeereep. Dat is een gebied dat op dit moment veel te lijden heeft van kustafslag en dat wil de heer Van Putten graag onder onze aandacht brengen.

Van Putten: Dames en heren, ik ben hier op tweeërlei titel, namelijk ten eerste voor het Comité Behoud Bergense Zeereep dat opgericht is in 1989 in verband met de sterke kustafslag die eerst 1 m per jaar bedroeg en nu 8 m per storm, en er zijn 3 à 4 stormen per jaar. Sindsdien zijn er twee suppleties geweest, en de derde zal binnenkort moeten volgen.

De tweede titel waarop ik hier sta, is voor het Provinciaal Consulentenschap voor Natuur- en Milieu-educatie in Noord-Holland. De lezingen van vanochtend en vanmiddag hebben mij heel veel geleerd, naast een aantal vragen waar we niet aan voorbij mogen gaan.

Bijvoorbeeld de vraag van de heer Smit die hij naar voren bracht in het extreme geval dat het eiland Terschelling als voorbeeld geminimaliseerd zou worden. Dat is natuurlijk extreem, maar we moeten gaan denken: waar zijn we hier nou mee bezig. En allen die met technische systemen en installaties te maken hebben gehad, weten dat dynamica, regeling en veiligheid onlosmakelijk met elkaar verbonden zijn, ook voor de Nederlandse samenleving, ook voor de kusten, ook voor de Waddenzee. En wat betekent dat dan? Dat wanneer de tijdseffecten op een ongunstige manier bij elkaar komen een stabiel systeem in een ander stabiel maar ongewenst systeem wordt omgezet. Als we dat nou vergelijken met wat de heer Smit aan de orde heeft gesteld, dan betekent dat als Terschelling al gehalveerd wordt, dat het hele verhaal van, ik meen de heer Oost, over kombergings-gebieden en dergelijk soort dingen, onderuit gehaald kan worden. Dan kan het betekenen als het ongunstig is dat een geul die hier westwaarts was, ineens aansluiting vindt met een geul die aan de oostzijde ligt. Dan gaat heel Terschelling weg en dan gaat het hele verhaal onderuit. Ik hoop dat het niet zo is. Het Comité heeft zijn bezorgdheid en eigenlijk spreken wij de wens uit dat de hier verzamelde expertise in deze zaal en de achterliggende organisaties deze sombere verwachtingen niet bewaarheid laten worden.

Een ander punt waar ik de aandacht voor wil vragen zijn de specifieke Noordhollandse aspecten, want die zijn totaal vergeten. Dit geheel gaat allemaal over de Waddenzee en ik ben de heer Schoorl zeer dankbaar voor de bijdrage over de westelijke Waddenzee.

U heeft op zijn plaatjes kunnen zien dat bij Huisduinen een totaal zandcomplex verdwenen is, maar bij Egmond was dat hetzelfde; de kerk lag op een gegeven ogenblik in zee en verdween. Er zijn ook 3 Pettens geweest. Dat zand heeft Noord-Holland opgeofferd aan de Waddenzee in de loop der eeuwen en we willen graag dat dat stopt.

In bijlage 1 is de rest van de bijdrage van het Comité Behoud Bergense Zeereep opgenomen.

Postma: Ik denk dat "Stop het zandtransport" teveel is gevraagd, maar het is goed dat U het woord hebt gevraagd zodat wij de kust van Noord-Holland niet vergeten. Wil één van de panelleden nog reageren op wat de heer Van Putten heeft gezegd.

Mulder: U legt de verbinding tussen een mogelijke bodemdaling en het effect op de kust in Noord-Holland. Wij kunnen niet ontkennen dat dat mogelijk is. Eén van de conclusies die uit onze bodemdalingsstudie naar voren komt, is dat we kusterosie kunnen krijgen. We hebben daarmee geen antwoord gegeven op de lokaties waar exact die kusterosie zich zal voordoen, wat we door monitoring moeten vaststellen en monitoring is in Noord-Holland net zo goed een onderdeel als op de Friese eilanden. De zorg wordt gedeeld.

Postma: Er is een aantal vragen binnengekomen en daar wilde ik nu mee beginnen. De vragen waren bijna alle gericht tot bepaalde panelleden en die heb ik dus doorgeschoven naar de betrokken panelleden.

De vragen aan en de antwoorden van de heer Oost zijn aan het eind van zijn bijdrage opgenomen. De bijdrage van de heer Postma over de niet te verwaarlozen zandwinning in de Waddenzee is in zijn impressies opgenomen.

Richard Klein representatief voor een aantal mariene onderzoekers.

Onze vraag heeft betrekking op het tijdsaspect van de dynamiek. De dynamiek die de sedimentatie zou moeten oplossen (dus dat het allemaal weer goed komt) die is gebaseerd op een aantal onderzoeken van het ver-

loop van een aantal honderden jaren terwijl men hier spreekt over iets wat in 10 talen jaren moet verlopen dus wij willen graag een antwoord hoe een dynamiek die zich normaal afspeelt in honderden jaren een probleem in tientallen jaren kan oplossen.

Oost: Er zijn diverse voorbeelden dat op kortere termijn, dus inderdaad in decennia, er wel degelijk een opvulling tot stand komt. Dat zien we heel duidelijk bij de afsluiting van de Lauwerszee. Vergelijkbare effecten zien we ook bij een aantal grote baggergaten waarvan sommigen een inhoud van een miljoen kubieke meter hadden. De opvulling daarvan verloopt asymptotisch in een aantal jaren en als je met die gegevens en die inzichten aan het werk gaat, dan kom je erop uit dat inderdaad binnen een aantal decennia tot een eeuw de schade toch wel herstelt. Waarbij lokaal natuurlijk wel verschillen kunnen optreden. Soms gaat het wat sneller, soms wat langzamer.

Klein: De afsluiting van de Lauwerszee is natuurlijk een heel ander proces en kan dus ook andere gevolgen hebben dan bodemdaling en zo zijn er nog andere voorbeelden. Maar de dingen die hier naar voren worden gehaald, dat zijn dus de voorbeelden die bekend zijn uit de geschiedenis van de afgelopen honderden jaren en dat hoeft dus niet op te gaan bij gaswinning.

Oost: Nee, maar dat is ook niet als basis voor de berekeningen gebruikt. Het zanddelend systeem concept dat ik naar voren bracht is gebaseerd op lineaire verbanden en bijna lineaire verbanden tussen de dynamiek en de verschillende onderdelen van die zanddelende systemen waarbij blijkt dat die onderling vrijwel lineair gekoppeld zijn. Daarvan weten we natuurlijk veel meer, want het werkgebied is niet beperkt tot het Waddengebied hier maar betreft ook een hele hoop vergelijkbare waddensystemen die dezelfde dynamiek hebben.

De heer Mulder wil ook nog even hier op reageren.

Mulder: Ja, ik wil hier even iets aan toevoegen. De indruk wordt gewekt dat er wel enige kennis bestaat over hoe het zit op de lange termijn hoewel de processen op een kortere termijn wat minder duidelijke kenmerken hebben. Op zich is die conclusie juist. Het is niet zo dat we absoluut geen inzicht hebben over processen op korte termijn. We hebben in ons onderzoek wat ten grondslag ligt aan het rapport wat hier gepresenteerd is de nauwkeurige dieptegegevens in de Waddenzee die vanaf de jaren 30 bekend zijn bekeken. Daarbij is naar voren gekomen dat er in die periode groeisnelheden van de platen op zijn getreden die vertaald naar snelheden per eeuw in de orde liggen van 1 tot 1.5 meter per eeuw. Dat zijn geen snelheden die zich over een langere periode hebben voorgedaan, maar in een gemiddelde van een aantal jaren komen dit soort snelheden voor. Dat geeft nog weer een illustratie van de rek die in het systeem zit. De potentie die in een systeem aanwezig is om een verstoring te volgen.

Zeespiegelstijging. Wij hebben ook het cumulatieve effect van bodemdaling en zeespiegelstijging meegenomen. Daarmee rekening houdend komen we op een range van potentiële stijgsnelheden van het water gevolgd door sedimentatie. Dat ligt binnen de sedimentatie range die wij hebben waargenomen als optredend in de Waddenzee. Dat is één van de argumenten die ons steunt in de gedachte dat de Waddenzee op de storing zou kunnen reageren. En dus bodemdaling kan compenseren.

Dijkema: Ik wou ook nog even reageren op die dynamiek. Ik heb een plaatje van gemiddeld hoog water bij Nes laten zien. Daar zitten dalingen in, er zitten stijgingen in en er wordt een gemiddelde stijging gesuggereerd. De meeste van die kleine fluctuaties hebben geen effect op de kwelder, maar tussen '76 en '83 ging het water in 8 jaar tijd 20 centimeter omhoog. Toen zijn de kwelders op behoorlijke schaal achteruit gegaan. Momenteel gaat al vanaf '83 dat gemiddeld hoogwater heel geleidelijk weer naar beneden en zien we een inhaalslag van de vegetatie van kwelders.

Postma: En nu weer een vraag uit de zaal.

Vraagsteller: Ik had een vraag over de bijdrage van mosselbanken. Hoe serieus zou die bijdrage kunnen zijn als je het hebt over compensatie door die natuurlijke mosselbanken. Die mossels die produceren dus dat poep, pseudofaeces is een mooi woord, en hoe serieus zou die bijdrage kunnen zijn.

Oost: Voor het antwoord zie blz. 19.

Gussinklo: Er is een vraag: wat is de omvang van het gasvoerend gesteente onder de concessiegebieden in de Waddenzee volgens de huidige kennis, met welke maximale bodemdalingsvolume correspondeert dat. Moeilijke vraag, want we moeten nog aantonen dat er gasvoerend gesteente onder de Waddenzee zit. Het

gaat hier om prognoses. Er zit naar verwachting gas onder de Waddenzee en pas middels boringen zal blijken of er helemaal geen gas of wel gas zit. Onze berekeningen zijn gebaseerd op de structuren die we inschatten als vermoedelijk gasvoerend en deels watervoerend. Die volumes gezamenlijk hebben we laten compacteren. Dat heeft dan geleid tot een schatting die ik in mijn voordracht heb aangegeven.

Van Doorn: In aanvulling hierop: Ik weet niet of alle aanwezigen uiteindelijk een verslag hebben gekregen van Rijkswaterstaat, maar in dat boekje staat een samenvatting van een rapport van de Rijks Geologische Dienst, Staatstoezicht en van Rijkswaterstaat en daar staan de getallen in. Het komt erop neer dat wij inschatten dat 45 miljoen kubieke meter bergingsvolume zal ontstaan als alle potentieel gasvormende structuren gedeponeerd zouden worden.

Een andere vraag is waarom er geen rekening is gehouden met de cumulatieve effecten van andere booractiviteiten, boorvergunningen Texel, aanvraag Schiermonnikoog, BRD, etc. Hoe wordt dat cumulatieve effect ingeschat? Ik moet U bekennen dat ik niet zeker weet of er een aanvraag Schiermonnikoog ligt, ik weet wel dat het gebied Texel als onderdeel van de Waddenzee beschouwd is in onze studie en dus ook wat dat betreft meegenomen is in de effecten. Het effect van boringen in Duitsland waar wij geen kennis hebben van hun prospectiviteit hebben we niet meegenomen. Anderzijds de getallen zoals die vandaag genoemd zijn, zijn in principe allemaal gericht geweest op de kombergingsgebieden 1 tot en met 9 en ik neem aan dat effecten van BRD prospects hooguit in kombergingsgebied 10 plaats zouden vinden, dus het oostelijke kombergingsgebied.

Ik geef U nog even over aan de heer Pöttgens naast mij die de rest van het antwoord zal geven.

Pöttgens: De volgende vraag luidt: hoe is de schatting van de bodemdaling van 2 à 10 centimeter te rijmen met een verwachte reserve van 100 à 200 miljard gezien de verhoudingen tussen bodemdaling en omvang van het reservaat bij bijvoorbeeld Ameland en de Marne: 10 miljard kubieke meter verwachte bodemdaling 15 à 25 centimeter. De heer Gussinklo heeft al in zijn verhaal aangegeven dat de bodemdaling afhankelijk is van een aantal parameters en 2 belangrijke parameters zijn de diepte van het veld en de omvang. Als U een groot veld op grote diepte heeft dan is de maximale bodemdaling gelijk aan de compactie. Hebt U een klein veld op grote diepte dan is de bodemdaling aan de bovengrond slechts een fractie van de compactie in de ondergrond. Er is bijvoorbeeld het geval van een klein veld als Eleveld waar slechts 1, 2 centimeter bodemdaling verwacht wordt terwijl er toch een substantiële compactie in de ondergrond plaatsvindt. En daar het gebeuren in de Waddenzee naar verwachting een cumulatie is van middelgrote velden zult U bij de inschatting van de bodemdaling dit effect goed moeten meenemen. En dat is ook in de berekeningen van de NAM die door RGD en onze dienst geverifieerd zijn gebeurd. Maar vandaar dus dat de te verwachten bodemdaling niet gerelateerd kan worden aan een ander veld van een geheel andere omvang en misschien ook van een geheel andere geomechanische structuur waar dan een mindere hoeveelheid een grotere bodemdaling veroorzaakt.

Volgende vragen: de onzekerheden in de verstarringen in verband met de verschillen in vroege prognoses en latere metingen, ook gezien de grote nadruk die de RGD legt op de monitoring in verband met compenseren van schade. Hoe zijn de onzekerheden gebruikt en verwerkt in de berekeningen. Kunnen we ook voorspellen hoe het waddensysteem zal reageren bij lokale bodemdaling en met welke andere (on)zekerheden soms ver buiten het waddengebied is of wordt rekening gehouden in alle voorspellingen. In het Groninger veld zijn 11 actieve observatiepunten en meer zogenoemde ondiepe observatiepunten ingebracht om daadwerkelijk te proberen compactie in de grond te meten. Overigens is het Groninger veld het best gemonitorde gasveld ter wereld. Je krijgt dan in de loop der tijden aanwijzingen ten aanzien van de betrouwbaarheid van je gemeten parameters en ook ten aanzien van de kwalitatieve waarde van je model. Wij moeten ons realiseren dat het Groningen model meerdere keren is bijgesteld. Het is begonnen in 1963, we zijn nu in 1993 en wij weten meer ten aanzien van onzekerheden, ik zou dan ook willen stellen dat na de grote verschillen die in de begintijd met bijstellingen zijn voorgekomen wij nu geleidelijk aan dichterbij de waarheid komen. Ook de verschillen in vroege prognoses en latere metingen zijn verwerkt in de waddenvoorspelling en we kunnen dan ook voorspellen hoe het waddensysteem zal reageren op de totale bodemdaling. Dan de laatste: met welke andere ingreep ver buiten het waddengebied is rekening gehouden in alle voorspellingen. Ik weet niet precies wat hier bedoeld wordt, maar het bodemdalingsgebeuren in relatie tot gaswinning is een begrensd gebeuren. Bodemdaling in Groningen heeft in Zuid Limburg werkelijk geen effecten.

Vraagsteller: Met de voorlaatste vraag was ook iets anders bedoeld namelijk: hoe worden de effecten voorspeld van de lokale bodemdaling. Voor zover ik het nu begrepen heb zijn bijna alle verhalen ingegaan op in het algemeen een soort balans voor de hele Waddenzee en niet wat dat op bepaalde lokaties betekent en als je in de ene lokatie eerder begint dan de ander, als je ze tegelijk doet, of als je ze niet tegelijk doet wat dan de gevolgen zijn. En die laatste vraag heeft betrekking op het feit dat U er allemaal heel gemakkelijk over spreekt, dat het systeem weer in evenwicht moet komen en dan is het allemaal weer goed. Ja, het is ook heel duidelijk

gezegd, dat zand dat moet ergens vandaan komen en we weten allemaal dat we permanent aan het ingrijpen zijn aan onze kust, niet alleen in de Waddenzee, maar ook aan de Noordhollandse en Zuidhollandse kust, in de delta, we zijn in de Noordzee bezig, we zijn met visserij bezig, en dat zijn allemaal andere activiteiten die van invloed zijn op de Waddenzee. Komt dat zand er wel, komt het er wel snel genoeg, wat voor zand is het precies, etc.

Dat soort onduidelijkheden en onzekerheden heb ik wel horen schemeren in Uw verhalen, maar ik heb niet van U gehoord dat U daar rekening mee houdt in Uw voorspellingen.

Antwoord: Misschien kan ik daar in eerste aanzet op antwoorden. Wij hebben ons natuurlijk bezig gehouden met het type ondergrond, gekeken naar wat er in het type ondergrond gebeurt en hoe zich dat vertaalt naar de bovengrond. Op die basis hebben we ook gerapporteerd naar Rijkswaterstaat en gezegd dat in een aantal kombergingsgebieden een zandhonger zal ontstaan en dat is verschillend van kombergingsgebied naar kombergingsgebied. Als U het rapport bekijkt, kunt U dat zien. En het is aan Rijkswaterstaat om vervolgens te kijken hoe vertalen we dat naar effecten op de platen van die komberging en moeten we suppleren in dat gebied of is er al voldoende zandaanvoer in dat gebied.

Vraag van de Waddenvereniging: U heeft een contourenplaatje laten zien van de bodemdaling in een aantal prospects. Is het juist om te veronderstellen dat er in ieder geval in het centrum van de bodemdaling een platform zal worden opgericht.

Gussinklo: Het antwoord daarop is, dat is niet juist want tegenwoordig zijn we technisch in staat om over grote afstand schuin te boren ofwel te deviëren. Ruwweg gezegd als je op 3000 meter gas denkt aan te treffen kun je ook 3000 meter daarvan weggan. Wat U wel kunt zien aan de contouren dat is dat er onder het diepste punt een prospect ligt, maar dat betekent niet dat daar een boorlokatie komt want er zal indien toestemming wordt gegeven om te boren in de Waddenzee zeer zorgvuldig gekeken worden op welke plaatsen we een hefeiland willen neerzetten. En dat moet ik nog even corrigeren want ik heb mij kennelijk niet duidelijk genoeg uitgedrukt: de structuren die op de seismiek zijn gezien en dus door ons als aan te boren prospects zijn aangemerkt tussen 1995 en 2000 zijn die prospects die een kans hebben van beter dan 70% om gasvoerend te zijn. Volgens verwachting komen er 20 boringen waarvan 11 in het PKB gebied. Om op Uw vraag te antwoorden: nee die boorlokaties komen zeker niet noodzakelijkerwijs op het diepste punt vanwaar de bodemdaling optreedt want we kunnen technisch gezien zeer goed schuin boren. Overigens dat is ook één van de redenen waarom de overige 9 duidelijk van buiten het PKB gebied geboord kunnen worden.

De andere vraag: is de conclusie juist dat er voor het jaar 2000 ook 11 boorlokaties op het wad zijn gepland. Ook daarop is het antwoord nee, er zullen wel 11 boringen uitgevoerd worden. Maar het zijn dus niet 11 boorlokaties en dat slaat terug op wat ik zonet heb gezegd. Het aantal boorlokaties zal beperkter worden, overigens we praten hier over verkenningsboringen.

En dan is er nog een vraag naar mij toeschoven over onzekerheden.

We hebben de gegevens die we hebben gekregen uit velden die op dit moment produceren gebruikt, we hebben regionale trends opgezet daarvoor, daar is de heer van Doorn vanmorgen ook nog op ingegaan, en die informatie hebben we gebruikt en daaromheen hebben we onze onzekerheden opgezet. En dat zijn maximale onzekerheden die we in alle redelijkheid voor dat type reservoir, in dit geval dus het Slochteren zandsteen en de Vlielandformatie, kunnen aannemen.

Dank U wel. Dan vraag ik nu de heer Mulder of die ook vragen heeft gekregen. En of hij die ook in korte tijd kan behandelen.

Mulder: Om even op de discussie van zonet terug te komen. Is er wel gekeken naar regionale effecten. We hebben ons in de lezingen op globale cijfers gebaseerd om een algemeen verhaal neer te zetten. Er is wel degelijk in detail gekeken en dat vindt U terug in ons rapport. Als U het heeft gepakt tussen de middag kunt U op blz. 17 bijvoorbeeld een grafiek zien waarbij per kombergingsgebied in de Waddenzee is uitgedrukt zowel wat het effect van bodemdaling door gaswinning is als wat het effect is van een versnelde zeespiegelstijging van 60 cm per eeuw. Als U die grafiekjes naast elkaar houdt, dan ziet U dat er per kombergingsgebied wel degelijk een verschil is dan ziet U bijvoorbeeld dat in een kombergingsgebied als het Pinkegat wat relatief klein is zich verhoudingsgewijs als gevolg van bodemdaling de grootste effecten zullen voordoen. In alle andere kombergingsgebieden is, afgezet tegen de effecten van een versnelde zeespiegelstijging, het bodemdalingseffect klein. Deze informatie is doorvertaald naar effecten per kombergingsgebied, en naar de in dat gebied geldende afnames van plaatareaal. Dus er is wel degelijk per gebied gekeken..

Even een vraag: betekent dat dan dat de gemiddeldes die hier vandaag gepresenteerd zijn niet gelden voor de

oostelijke Waddenzee, maar dat we in de oostelijke Waddenzee rekening moeten houden met grotere getallen?

Mulder: Neen. Het cijfer dat ik gepresenteerd heb over de afnames van de platen, dat zijn maximumcijfers die voor een individueel kombergingsgebied gelden. Dat zijn dus de maximale effecten die lokaal kunnen optreden

Oost: Mag ik hier misschien heel kort even op ingaan. Ook in ons rapport hebben we inderdaad gekeken per kombergingsgebied en Dijkema is nog een stapje verder gegaan, die heeft zelfs per vakje voor de kwelder gekeken wat de effecten zijn.

Vraag: Dat wil zeggen dat alles bij elkaar is opgeteld, dus ook de cumulatieve effecten van bodemdaling, gaswinning, inklinking en huidige zeespiegelrijzing en dat gewoon de worst case is berekend?

Mulder: Die is daar in onze ogen mee berekend. Om daar nog even op door te gaan, wij zijn wat betreft de bodemdalingcijfers uitgegaan van de verwachtingswaarde van 45 miljoen kuub maar we hebben bij onze berekeningen ook de marges berekend. Om die 45 miljoen kuub zit een marge van 15 miljoen kuub. We hebben voor het extreme scenario dat wij hebben doorgerekend gerekend met een volumetoename van 60 miljoen kuub, dus het scenario met de extremen die kunnen optreden in die situatie. Wel allemaal voor de effecten, die zich voordoen na een termijn van 40 jaar. Waarbij de effecten die door de bodemdaling zijn opgetreden op een termijn van 100 jaar zich weer zullen herstellen. Er is geen uitspraak gedaan over wat op de veel langere termijn het effect van versnelde zeespiegelstijging zal zijn.

Vraagsteller: Het is duidelijk wat er na 50 jaar gebeurt maar wat gebeurt er tussen 5, 10 en 15 jaar. Ik had gehoopt daar van de heer Mulder en de heren Van Doorn en Pöttgens wat over te horen, want dan kunnen we tenminste zien hoeveel afname er is in het areaal van zandplaten en ik had ook graag wat meer numerieke informatie van de heer Swennen wat betekent dat dan zeg maar, een 5 tot 10% afname in het areaal voor met name de trekvogelpopulaties en zijn daar dan ook vogels bij die nog extra kwetsbaar zijn want we weten dat in de Waddenzee een aantal soorten voorkomt die in Europa verder uiterst schaars zijn.

Mulder: Opnieuw moet ik verwijzen naar het rapport wat is uitgereikt en wat nog te verkrijgen is. Op blz. 22 staat per kombergingsgebied uitgesplitst de verliezen die in een plaat kunnen optreden op een termijn van 40 jaar rekening houdend met de op die periode spelende naijlingen in de plaatgroei.

Vraagsteller: Is dat dan ook Uw antwoord voor wat er bijvoorbeeld over 10 jaar is, want ik heb uit de cijfers gezien dat 60 tot 70% van de bodemdaling de eerste 10 jaar plaatsvindt. Dus is dat dan ook berekend.

Mulder: Dat zit in principe daarin verdisconteerd omdat, als U zich het grafiekje herinnert dat ik heb laten zien, tegenover de hoogste versnelling in de bodemdaling de eerste 10 jaar in die eerste 10 jaar ook de hoogste versnelling in morfologische aanpassing staat.

Vraagsteller: Ja, maar bij de heer Van Doorn zag ik in de grafiek dat na 50 jaar 30 tot 70%, 30% was de minimale aanwas en 70% de maximale aanwas, dus ik zie in wat de heer Van Doorn presenteerde iets anders dan wat U zegt. Want de heer Van Doorn zei, als ik de grafiek goed begrepen heb, dat na 50 jaar 70% herstel heeft plaatsgevonden door sedimentatie, dus we zien daar met name dat daar de grootste verschillen plaatsvinden na 5 tot 10 tot 15 jaar en niet na 40 jaar.

De heer Van Doorn heeft een plaatje laten zien van de sedimentatiesnelheid in de kwelder en dat was met name de kwelder aan de zuidkant van Ameland, en daar was inderdaad rond 2040, 2050 de bodemdaling ter plekke van de kwelder met minimaal 35% opgehoogd met een bovengrens van 85% maar dat was dus in de kwelder en niet op de platen.

Postma: Dus dan komen we op het terrein van de heer Dijkema want dat is onze kwelderspecialist. Die vraag blijft ook daar natuurlijk actueel, maar is dan de vraag beantwoord, hoeveel % van de platen bij dit scenario na 10 jaar is afgenomen. Die vraag is wat mij betreft, nog niet beantwoord.

Dijkema: Misschien even een misverstand over het verhaal Ameland '86 waaruit de heer Van Doorn citeert. Dat hebben ons instituut en de heer Eysink van het Waterloopkundig Laboratorium samen geschreven. Wij hebben in 1986 geen rekening gehouden met extra opslibbing onder invloed van bodemdaling dus dat is wer-

kelijk het allerslechtst mogelijke scenario en ik zou die cijfers nu helemaal niet meer willen gebruiken. Wat betreft afname van plaatareaal zit er in ons huidige rapport een modelberekening van de heer Eysink (bijlage 7). Ik denk dat één van de belangrijkste cijfers is dat we denken dat de verticale daling van de platen niet meer dan 3 cm is.

Vraag: Maar wat is dat voor een oppervlakte?

Dijkema: Minder dan één procent.

Ook na 10 jaar?

Om even wat specifieker te zijn, voor het Borndiep waar de daling het grootste is, is het ongeveer een halve vierkante kilometer die je maximaal kwijtraakt. Dat is ongeveer een derde procent. En dat is het maximum van alle kombergingsgebieden.

De meeste cijfers in die tabel bestaan uit een nul, een komma, een nul en dan komt er pas een getal.

Postma: Het is nu kwart over vijf. De zaal begint er een beetje uit te zien als een tribune na een verloren voetbalwedstrijd, dus ik sluit deze dag die dacht ik toch zeer geanimeerd was. Ik denk dat we allemaal een hele hoop hebben geleerd en zoals al is gezegd misschien komt er nog wel eens een vervolg waarbij een ander deel van dit probleem nader wordt toegelicht. Er zijn diverse suggesties, maar ik wou deze vergadering afsluiten.

BESPIEGELINGEN VAN DE DISCUSSIE-VOORZITTER

H. POSTMA

oud-directeur Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee

Zandige en slibrijke kusten zijn in de loop van de geschiedenis met het rijzen en dalen van de zeespiegel, of door het zakken of stijgen van de zeebodem, over grote afstanden verplaatst. Deze verplaatsing werd mogelijk gemaakt door de beweeglijkheid van het sediment dat zich daardoor snel aan een nieuw regime van golven, wind en getijstroom kon aanpassen. Deze aanpassing kon geleidelijk of schoksgewijs verlopen, doch de karakteristieke structuren werden daarna weer hersteld. In zandrijke shelfgebieden zijn dat een of meer op enige afstand van de kust opgeworpen zandbanken waarvan meestal één boven water uitgroeide en met duinen werd bekroond. Een deel van deze duinen werd door vegetatie vastgelegd, wat de stabiliteit van deze barrière, waarin het overgrote deel van het zand werd opgeslagen, vergrootte.

Deze stabiliteit werd verder verhoogd door het ontstaan van zeegaten zodat de zee ook achter de duinenrij toegang had. Het getij door de zeegaten zorgde voor de karakteristieke structuur van onderwaterdelta's binnen en buiten waarbij de laatste een extra bescherming vormden voor de kustlijn.

Op de discussiedag is uitvoerig ingegaan op de manier waarop zand in de beschreven systemen wordt getransporteerd. In het Waddengebied is sprake van een 'zanddelend systeem' waarin het zand circuleert van de buitendelta naar de kust van de eilanden, vandaar naar binnen en op de zandwad- den en vervolgens weer terug naar de buitendelta. Hier kan nog wind- en watertransport over de eilanden aan worden toegevoegd, die in andere gebieden soms domineert doch in de Waddenzee geen grote rol meer speelt. Een voorbeeld waar dit nog wel het geval is, is de oosthelft van Schiermonnikoog.

In een ideale evenwichtssituatie is de zandkringloop vrijwel gesloten en worden kleine verliezen aangevuld door zand van aangrenzende gebieden en door rivieraanvoer. Daalt de bodem, of stijgt de zeespiegel, wat veelal het geval is, dan past het systeem zich aan door meer zand naar binnen te voeren en de eilanden langzaam naar binnen te verschuiven. Dat ook in de Waddenzee grote zandverplaatsingen zijn opgetreden werd tijdens de discussiedag aan de hand van oude kaarten uitgebreid aangetoond.

Menselijke ingrepen hebben de natuurlijke zandbeweging in het besproken soort kustgebieden ver-

stoord. In ons land is die verstoring al zo'n duizend jaar geleden begonnen en de laatste honderd jaar versneld. Elders in de wereld is de verstoring van recentere datum. De indruk is die van een mondiaal zandtekort.

Die ingrepen kunnen in twee categorieën worden ondergebracht. De eerste is het vasthouden aan de status quo: waar kustafslag dreigt wordt zand zo veel mogelijk vastgelegd. Gebieden die zich van nature zouden verplaatsen of zouden verdwijnen zijn daarvoor te kostbaar geworden en worden verdedigd of soms zelfs vergroot. Het transport in het zanddelend systeem zal daardoor zijn afgenomen, al is niet bekend in welke mate.

De tweede categorie omvat een hele reeks veranderingen zoals vermindering van zandaanvoer door rivieren, veranderingen in de morfologie — met name door inpolderingen, afsluitdijken en verdiepingen van vaarwaters — en door zandwinning. Deze ingrepen hebben, samen met de 'natuurlijke zeespiegelrijzing' geleid tot wat de 'zandhonger' van het gebied wordt genoemd. De belangrijkste maatregel om aan deze zandhonger te voldoen is thans de aanvoer van zand uit de Noordzee van ver buiten het zanddelend systeem. Dit zand wordt op de stranden van de meest bedreigde gedeeltes neergelegd, een proces dat ook in de toekomst regelmatig zal moeten worden herhaald.

De kosten van deze aanvoer zijn hoog maar deze zouden in de toekomst aanzienlijk kunnen dalen als we meer details weten over het zanddelend systeem. Het is niet uitgesloten dat het Noordzeezand op een andere plaats in het systeem, bijvoorbeeld in het zee-gat, kan worden gestort wat de aanvoer zou vereenvoudigen.

Twee nieuwe effecten die in de volgende eeuw de zandhonger zouden kunnen vergroten zijn een versnelde zeespiegelstijging als gevolg van het broeikaseffect en bodemdaling door gaswinning. De openbare discussiedag werd in de eerste plaats gehouden vanwege deze bodemdaling.

Wat de onbevooroordeelde toehoorder het meeste opviel was de grondige kennis die door sprekers van verschillende herkomst naar voren werd gebracht. Deze kennis betrof de reacties van de lagen waaruit het gas zou worden gewonnen en de daarboven gelegen afzettingen, waarbij de betrokken overheids-

organen en de Gasunie een hoge mate van overeenstemming etaleerden, en de daaruit resulterende bodemdaling per gasveld. De algemene conclusie was dat de gevolgen voor de morfologie van het gebied gering zullen zijn. De lezer kan zich uit de in deze publikatie verschaft informatie zelf een oordeel vormen. Wat de zandhonger per jaar betreft geven de volgende getallen alvast het relatieve belang aan van de drie voornaamste veroorzakers: huidige zandwinning: 4×10^6 ton; huidige zeespiegelstijging van 17 cm per eeuw: 4×10^6 ton en eventuele gaswinning 1×10^6 ton, de laatste bij volledige winning van de thans bekende en nog te winnen gasvoorraden in 40 jaar. De bodemdaling door gaswinning vraagt dus 10-15% van het totaal en in principe zou men moeten rekenen met een toename van de zandaanvoer uit de Noordzee met dit percentage.

Voor het zo ver is kunnen de getallen voor de zandwinning en de zeespiegelstijging aanzienlijk zijn veranderd. Die van de zandwinning zijn uiteraard exact te sturen. Wat de versnelde zeespiegelstijging betreft zijn geen goede voorspellingen te maken. Het getal van 60 cm per eeuw bij verdubbeling van het atmosferisch CO_2 -gehalte werd reeds in 1983 door de toenmalige CO_2 -commissie van de Gezondheidsraad genoemd en is sindsdien niet bijgesteld.

Op de discussiedag werd betrekkelijk weinig aandacht gegeven aan de gevolgen van de bodemdaling voor de samenstelling van de biologische gemeen-

schappen in de Waddenzee. Dit hangt samen met de voorspelling dat het intertijde-gebied ook bij volledige gaswinning slechts marginaal zal afnemen en de verhouding van het droogvallende en niet-droogvallende deel dus nauwelijks verandert. Wel leek het verstandig maatregelen te treffen tegen verdere afname van het vastelands-kwelderareaal dat overigens toch al deels kunstmatig in stand wordt gehouden.

In een discussie over andere gevolgen van de gaswinning dan bodemdaling zullen biologische effecten een grotere rol spelen. Het is niet de bedoeling hierop vooruit te lopen, maar op grond van het inzicht dat de morfologie door deze winning niet wordt aangetast kan wel worden gezegd dat na afloop van die winning geen blijvende negatieve effecten zullen zijn opgetreden. Afgezien van de vraag of deze winning schade zal veroorzaken, waarover verschillend zal worden gedacht, zijn de in het gebied levende organismen in hoofdzaak gewend zich snel te herstellen. Een voorbeeld hiervan is de zeer snelle herbevolking van de droogvallende gedeelten waarop na een zeer strenge winter door ijsgang en uitvriezen het overgrote deel van de populatie, inclusief de mosselbanken, verdwenen is. Wie na zo'n winter, waarbij met het ijs ook veel sediment wordt verplaatst, het verwoeste oppervlak van de platen heeft gadegeslagen en vervolgens het snelle herstel in het voorjaar heeft meegemaakt, twijfelt niet aan de vitaliteit van het systeem.

Bijlage 1

ENIGE KUSTPROBLEMEN IN NOORD-HOLLAND

COMITÉ BEHOUD BERGENSE ZEEREEP

onder auspiciën van het Provinciaal Consulentenschap Natuur- en Milieu-Educatie Noord-Holland

Correspondentieadres: ir. A.P.W.M. van der Putten, Oude Bergerweg 75, 1862 KK Bergen

1. INLEIDING

Door de eeuwen heen zijn grote delen van de zandige kust van Noord-Holland verdwenen, zoals bij Huisduinen, Petten en Egmond. Dit zand is, deels, door de zee getransporteerd naar het Waddengebied. De ontwikkelingen in het Waddengebied zijn dan ook van grote betekenis voor de kust van Noord-Holland.

Dit klemmt temeer, nu de normale kustachteruitgang in het gebied van Bergen aan Zee en Egmond aan Zee van ca 1 m/jaar heeft plaatsgemaakt voor zo'n 8 m/storm en met 3 à 4 stormen per jaar.

Deze buitensporig grote kustafslag is voor het Comité Behoud Bergense Zeereep aanleiding geweest om ook in het kader van mogelijke olie/gas-winningsactiviteiten in het Waddengebied uiting te geven aan zijn ernstige bezorgdheid in de vorm van een rapport (1).

2. BODEMDALING EN KUSTEROSIE

Naast de natuurlijke bodemdaling t.g.v. het stijgen van Scandinavië na de laatste ijstijd zal bodemdaling in het Waddengebied optreden tengevolge van menselijke ingrepen:

- 1) het baggeren van zand in de Waddenzee en in de zeegaten tussen de Waddeneilanden;
- 2) de winning van olie/gas uit bodemlagen onder/nabij de Waddenzee. Over de hierdoor veroorzaakte 'zandhonger' van de Waddenzee — resulterend in erosie van de Noordzeekust van Noord-Holland en de Waddeneilanden — heeft de minister een brief aan de Tweede Kamer geschreven (2). Hieruit mag geconcludeerd worden dat de Minister iedere door mensen gegenereerde belangrijke oorzaak van kusterosie wil voorkomen. Dit geldt dus ook voor kusterosie die veroorzaakt wordt door bodemdaling tengevolge van olie/gaswinning, wanneer deze winning een aantasting van de veiligheid en/of van een duurzaam behoud van functies en waarden in duingebieden zou veroorzaken.

3. STABILITEIT VAN DE WADDENEILANDEN

Ten aanzien van de Waddeneilanden is het uitgangspunt van de minister:

'Ruime beweeglijkheid kan worden toegestaan aan de meeste uiteinden van de Waddeneilanden, met als beperking dat de eilanden wel als één geheel moeten blijven bestaan.' (2), blz. 7. Menselijke ingrepen in de Waddenzee zijn derhalve slechts toelaatbaar als aan deze beleidskeuze voldaan wordt.

Belangrijke categorieën verstoringen van het Waddengebied zijn enerzijds: de bodemdaling tengevolge van natuurlijke en menselijke oorzaken; en anderzijds: een eventuele zeespiegelrijzing t.g.v. het broeikas-effect.

De verwachting die bij de in den lande gevoerde discussies m.b.t. kustprocessen die op een verstoring volgen naar voren komt is, dat er na enige tientallen jaren vanzelf een dynamisch, maar stabiel evenwicht ontstaat.

Het is echter — ook uit de wiskundige theorie en uit de fysische praktijk van allerlei dynamische processen — bekend, dat bij een ernstige verstoring van het oorspronkelijk evenwicht de situatie kan uitlopen op een nieuw evenwicht met geheel andere condities. Deze nieuwe situatie hoeft niet bedreigend te zijn voor de integriteit van het dynamisch systeem. Maar de mogelijkheid is evenwel ook aanwezig, dat het nieuwe evenwicht ontstaat in een geheel uit de hand gelopen systeem met volslagen onaanvaardbare condities!

In de praktijk kan een nieuwe, ongewenste systeem situatie zowel het gevolg zijn van één grote, ernstige verstoring, als van het cumulatieve effect van een aantal kleinere, op zich niet-desastreuze, verstoringen.

Het tijdstip waarop dergelijke verstoringen in het verloop van het hele proces optreden, is daarbij van cruciale betekenis. Immers, een verstoring die op zich een tegenkoppel-effect heeft, kan in combinatie met andere verstoringen op een ongunstig tijdstip een meekoppel-effect teweeg brengen, waardoor het totale systeem dan steeds verder van een evenwichtssituatie vandaan geraakt.

Een voorbeeld:

Een zeer ernstige situatie zou ontstaan, als de zich in de tijd verplaatsende geulen ter west- en ter oostzijde van Terschelling contact met elkaar zouden maken. Dit zou het mechanisme van de zandhonger

dermate kunnen verstoren, dat de stabiliteit van de eilandenboog in gevaar zou komen. De kans dat een dergelijke situatie zich voordoet is zo klein, dat hij in het algemeen als hypothetisch van de hand wordt gedaan. Gezien echter het potentiële verlies aan mensenlevens en de ernstige schade, is het risico (=kans x schade) hiervan wellicht toch behoorlijk hoog.

Een risico-analyse van het totaal der elkaar wederzijds beïnvloedende processen in de Waddenzee is dan ook naar de mening van het Comité Behoud Bergense Zeereep ten zeerste gewenst. Mede in verband met mogelijke consequenties voor Noord-Holland is het Comité ten zeerste gehecht aan het verkrijgen van de zekerheid, dat reeds genomen en nog te nemen maatregelen, én hun fasering in de tijd zijn vrees ongegrond maken.

4. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

1. Het Comité Behoud Bergense Zeereep is van mening dat olie/gaswinning in de Waddenzee pas toelaatbaar is als de vrees voor erosie en/of desintegratie van de Waddeneilanden en/of de kust van Noord-Holland afdoende is weggenomen.

2. Het Comité is van mening dat zandsuppleties noodzakelijk zijn om het verlies aan bodemvolume in de Waddenzee en benoorden de Waddeneilanden afdoende te compenseren. Pas wanneer de zandballen in de Waddenzee en rond de Waddeneilanden over de gehele duur van de bodemdaling als gevolg van olie/gaswinning kloppend zijn, zal het mogelijk zijn de integriteit van de Waddeneilanden te kunnen garanderen en de kusterosie van de Waddeneilanden en van de kust van Noord-Holland afdoende tegen te gaan. Slechts op deze wijze kan gestalte gegeven worden aan de beleidskeuze van de regering voor het duurzaam handhaven van de veiligheid en het duurzaam behoud van functies en waarden in duin- en kustgebieden.

3. Om tot het in 4.1 omschreven resultaat te komen is een integrale benadering van de Waddenzee-problematiek in al zijn facetten vereist. Dit zal de samenwerkende expertise van een behoorlijk deel van de wetenschappelijke en technologische capaciteit van de Nederlandse samenleving vereisen, hetgeen onderstreept wordt door de voor de Openbare Discussiedag 'Bodemdaling Waddenzee' van de Koninklijke Nederlandse Academie van Wetenschappen uitgenodigde organisaties en instellingen. Door het uitvoeren van een risico-analyse van het

totaal der elkaar beïnvloedende processen in de Waddenzee kan de in 4.1 verwoorde bezorgdheid worden weggenomen.

4. Het in de analyse van punt 4.2 te betrekken gebied dient zo'n groot oppervlak te hebben, dat ook voor de rest van de Nederlandse kust de gevolgen van het gecombineerde effect van natuurlijke processen en menselijke activiteiten in de Waddenzee geëvalueerd kunnen worden.

5. Op termijn zou olie/gaswinning in de Waddenzee kunnen leiden tot de (hernieuwde) wens tot olie/gaswinning in het IJsselmeer. Dit kan eveneens leiden tot aantasting van de integriteit van het Noord-Hollands grondgebied.

Het Comité Behoud Bergense Zeereep is van mening dat in het hiervoor in punt 4.3 en 4.4. bepleite integrale onderzoek ook de gevolgen van olie/gaswinning in het IJsselmeer dienen te worden meegenomen.

6. Het in de punten 4.3 t/m 4.5 bepleite integrale onderzoek kan leiden tot een wetenschappelijke en technologische innovatie in Nederland. Dit kan de toekomstige generaties Nederlanders tot een zegen strekken.

7. Gezien de complexe problematiek en het grote belang voor de — ook toekomstige — Nederlandse bevolking, dient in ruime mate aandacht geschonken te worden aan de educatieve aspecten. Het thema verdient een blijvende plaats bij Natuur- en Milieu-Educatie (NME) in schoolse en buitenschoolse educatieve programma's. Het zou bijvoorbeeld een onderdeel kunnen zijn van NME in de basisvorming, én een vast onderdeel van het aanbod van diverse NME- en bezoekerscentra in de kustregio.

Het Comité Behoud Bergense Zeereep beveelt van harte aan om deze verbreding van het draagvlak in de Nederlandse samenleving voor dit geïntegreerde project te stimuleren.

LITERATUUR

1. NOTITIE VAN HET COMITÉ BEHOUD BERGENSE ZEEREER dd. 20 april 1993.
2. KUSTVERDEDIGING NA 1990 Beleidskeuze voor de kustlijn-zorg. Brief van de Minister van Verkeer en Waterstaat, met nota, aan de Tweede Kamer, vergaderjaar 1989-1990, 21.136, nrs 5-6.
3. KUSTVERDEDIGING NA 1990 Discussienota en Technische Rapporten TR0 t/m TR20, uitgebracht door het Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Mei 1989.

INHOUDSOPGAVE

H.J. LINDEBOOM. Voorwoord	1
D.K.J. TOMMEL. Bestuurlijke terugblik en perspectief	3
W.J. WOLFF. Waddenzee, aardgas en bodemdaling: conclusies	5
H. SCHOORL. De historische ontwikkeling van het Waddenzeegebied	7
A.P. OOST. Historische ontwikkeling van de oostelijke Waddenzee en de morfologische gevolgen van bodemdaling door gaswinning	11
H.J. GUSSINKLO. Bodemdaling in de Waddenzee door gaswinning	21
TH.H.M. VAN DOORN & J. PÖTTGENS. Bodemdaling in de Waddenzee ten gevolge van gaswinning: 'prognose en toetsing'	35
J.P.M. MULDER. Effecten van bodemdaling op zandhuishouding en morfologie van Waddenzee en eilandkusten	37
K.S. DIJKEMA. Effecten van bodemdaling door gaswinning op kwelders in de Waddenzee	41
C. SWENNEN. Mogelijke effecten van bodemdaling op wadvogels	47
E.C. SMITH. Gaswinning in de Waddenzee: schadelijk voor mens en natuur!	53
Verslag van de discussie	57
H. POSTMA. Bespiegelingen van de discussie-voorzitter	63
Bijlage 1. Comité behoud Bergense Zeereep. Enige kustproblemen in Noord-Holland	65